



Société Algérienne de Nutrition

Nutr. Santé, 2016, Vol.05 N°01: 1-66.

Nutrition & Santé

Editorial

Alimentation méditerranéenne et santé

Malika BOUCHENAK

1

Alimentation méditerranéenne

Alimentation méditerranéenne et cancers

Mariette GERBER.

3

Comportement alimentaire

Existe-t-il une détection gustative des lipides alimentaires ?

Philippe BESNARD.

16

Aliments et nutriments

Particularités et bienfaits des yaourts

Jean Michel LECERF.

24

Composés bioactifs

Les algues, une ressource aux applications multiples : Nutrition, Santé, Cosmétologie, Bioénergie, Environnement

Gérard TREMBLIN.

33

Gélatines de poisson : Préparation, propriétés et applications

Mourad JRIDI, Moncef NASRI.

45

Le point

Mondialisation, Agro-industries, Globalisation des Modes alimentaires et Nouveaux Enjeux Sanitaires : L'Agriculture Biologique, peut-elle être, une solution du problème

Hassini TSAKI.

60



Les missions



PROMOUVOIR LA NUTRITION DANS TOUS LES DOMAINES D 'APPLICATION
santé, agronomie, agro-alimentaire, biotechnologies, environnement

CRÉER ET DÉVELOPPER DES LIENS ENTRE LA RECHERCHE FONDAMENTALE ET LA RECHERCHE APPLIQUÉE
ainsi qu 'avec les secteurs d 'application pratique, administrative et institutionnelle et la population

ORGANISER OU SOUTENIR DES ACTIONS DE FORMATION, D 'INFORMATION ET DE VULGARISATION DANS LES DOMAINES DE LA NUTRITION,
en prenant en compte les priorités de Santé Publique

ORGANISER UNE OU PLUSIEURS RÉUNIONS SCIENTIFIQUES PAR AN
seule ou en collaboration avec d 'autres associations et organismes

SUSCITER DES TRAVAUX D 'EXPERTISE COLLECTIVE

ENCOURAGER ET DIFFUSER LES INFORMATIONS ET TRAVAUX SCIENTIFIQUES
notamment par la création d 'une revue

ASSURER UNE REPRÉSENTATION DES DOMAINES DE LA NUTRITION
auprès des instances nationales et internationales

TRAVAILLER AVEC TOUTES LES INSTITUTIONS ET DÉPARTEMENTS MINISTÉRIELS INTÉRESSÉS PAR NOS OBJECTIFS
pour organiser au mieux les actions et activités en nutrition

Le bureau de la SAN

Présidente

Malika BOUCHENAK

Vice-Présidents

Souhila AOUICHAT-BOUGUERRA
Djamel Eddine MEKHANCHA

Secrétaire générale

Nawal DIDA

Secrétaire Adjoint

Imad BOUREGHDA

Trésorière

Farida BOUKORTT

Trésorière adjoint

Lineda BEKKOUCHE

Membres assesseurs

Mohammed BENALI
Ahmed BOUALGA
Corinne DAHEL-MEKHANCHA
Khaled KARA MOSTEFA
Djamil KROUF
Lahcene NEZZAL
Ali RIAZI

Directeur de la publication

Société Algérienne de Nutrition

Comité d'édition

Présidente du comité

Malika BOUCHENAK

Rédactrice en chef

Myriem LAMRI-SENHADJI

Membres

Souhila AOUICHAT-BOUGUERRA

Comité scientifique de la revue

Jacques BELLEVILLE, U. Dijon
Souhila AOUICHAT-BOUGUERRA, USHB, Alger
Malika BOUCHENAK, U. Oran 1
Rekia BELAHSEN, El Jadida, Maroc
Marie Aleth LACAILLE-DUBOIS, U. Dijon
Denis LAIRON, CHU, Marseille
Myriem LAMRI SENHADJI, U. Oran 1
Corinne DAHEL-MEKHANCHA, U. Constantine
Moncef NASRI, Sfax, Tunisie
Jesus OSADA, Zaragoza, Spain
Manfredi RIZZO, Palerme, Italie
Philippe GERARD, Jouy-en-Josas, France



SOMMAIRE

Editorial

Alimentation méditerranéenne et santé <i>Malika BOUCHENAK. Nutr. Santé, 2016, Vol. 05.N°01:1-2.....</i>	1
--	---

Alimentation méditerranéenne

Alimentation méditerranéenne et cancers <i>Mariette GERBER. Nutr. Santé, 2016, Vol. 05.N°01:3-15.....</i>	3
--	---

Comportement alimentaire

Existe-t-il une détection gustative des lipides alimentaires ? <i>Philippe BESNARD. Nutr. Santé, 2016, Vol. 05. N°01: 16-23</i>	16
--	----

Aliments et nutriments

Particularités et bienfaits des yaourts <i>Jean Michel LECERF. Nutr. Santé, 2016, Vol. 05. N°01: 24-32</i>	24
---	----

Composés bioactifs

Les algues, une ressource aux applications multiples : Nutrition, Santé, Cosmétologie, Bioénergie, Environnement <i>Gérard TREMBLIN. Nutr. Santé, 2016, Vol. 05. N°01: 33-44</i>	33
--	----

Gélatines de poisson : Préparation, propriétés et applications <i>Mourad JRIDI, Moncef NASRI. Nutr. Santé, 2016, Vol. 05. N°01: 45-59</i>	45
--	----

Le point

Mondialisation, Agro-industries, Globalisation des Modes alimentaires et Nouveaux Enjeux Sanitaires : L'Agriculture Biologique, peut-elle être, une solution du problème <i>Hassini TSAKI. Nutr. Santé, 2016, Vol. 05. N°01: 60-66</i>	60
---	----

CONTENT

Editorial

Mediterranean diet and health <i>Malika BOUCHENAK. Nutr. Santé, 2016, Vol. 05. N°01:1-2</i>	1
--	---

Mediterranean diet

Mediterranean diet and cancers <i>Mariette GERBER. Nutr. Santé, 2016, Vol. 05. N°01:3-15</i>	3
---	---

Dietary behavior

Is there a gustatory detection of dietary lipids? <i>Philippe BESNARD. Nutr. Santé, 2016, Vol. 05. N°01:16-23</i>	16
--	----

Foods and nutrients

Caractéristiques and benefits of yogurts <i>Jean Michel LECERF. Nutr. Santé, 2016, Vol. 05. N°01: 24-32</i>	24
--	----

Composés bioactifs

The algae, a resource with multiple applications: Nutrition, Health, Cosmetics Bioenergy, Environment <i>Gérard TREMBLIN. Nutr. Santé, 2016, Vol. 05. N°01: 33-44</i>	33
--	----

Fish gelatins : Preparation, properties and applications <i>Mourad JRIDI, Moncef NASRI. Nutr. Santé, 2016, Vol. 05. N°01: 45-59</i>	45
--	----

The point

Globalization, Agri-industries, Food Globalization and sanitary New Challenges: Organic Agriculture, can it be a solution of problem <i>Hassini TSAKI. Nutr. Santé, 2016, Vol. 05. N°01 60-66</i>	60
--	----

Danone Nutricia Research et Danone Institut Maroc vous invitent au **symposium** :

FOOD SOCIOLOGY & NUTRITION



Si la plupart d'entre nous savons ce que nous *devons* ou *ne devons pas* manger, pourquoi continuons-nous à faire les « mauvais choix », nutritionnellement parlant? Trois socio-anthropologues africains de l'alimentation viendront présenter les résultats de leurs recherches, et montrer en quoi « manger » est un acte humain total qui va au-delà de la simple absorption d'aliments ou de nutriments.

SPEAKERS:

- **Pr. Francis AKINDES**, Chaire Unesco de bioéthique de Bouaké, Côte d'Ivoire
- **Pr. Estelle KOUOKAM MAGNE**, Université Catholique d'Afrique Centrale, Cameroun
- **Dr. Ouassila SALEMI**, Université d'Oran, Algérie

CHAIR et CO-CHAIR: **Pr. Malika BOUCHENAK** (Algérie) et **Pr. Abdelfettah DEROUICHE** (Maroc)

Le 12 Octobre 2016, de 13h à 14h
Au Palm Plaza Hôtel, Marrakech, Maroc



Editorial

Alimentation méditerranéenne et santé

Mediterranean diet and health

Ce numéro de Nutrition & Santé est un retour sur le 2^{ème} Congrès International de la Société Algérienne de Nutrition qui s'est tenu du 13 au 15 octobre 2015, à Alger, et dont la thématique principale portait sur l'Alimentation méditerranéenne et la santé.

L'alimentation méditerranéenne représente un véritable trésor culturel et culinaire, prônant la consommation de certains aliments, comme les fruits, les légumes, les légumineuses, les grains entiers, les noix, le poisson. De plus, l'un de ses piliers repose sur la consommation de l'huile d'olive, dont les avantages sont nombreux. A cet effet, l'OMS et la FAO ont reconnu le régime méditerranéen comme un modèle d'alimentation de qualité, sain et durable. Par ailleurs, les régimes méditerranéens traditionnels sont nutritionnellement appropriés, avec des teneurs variées en graisses totales, faibles en acides gras saturés et très faibles en acides gras Trans, et riches en fibres et en vitamines et flavonoïdes antioxydants.

Une plus grande adhésion au modèle alimentaire méditerranéen est toujours associée à un meilleur état de santé. Il est intéressant de noter que là où les populations se sont éloignées des régimes traditionnels et ont suivi le régime type occidental, caractérisé par des teneurs élevées de graisses saturées, de protéines animales, de glucides hautement raffinés et de sucre, une augmentation de l'incidence de l'obésité, du type diabète de type 2, des maladies auto-immunes, du cancer et de la démence a suivi. Parmi ces régimes traditionnels, le régime méditerranéen est probablement le modèle alimentaire avec des preuves scientifiques pour sa capacité à promouvoir la santé. En effet, le mode alimentaire méditerranéen permet de réduire considérablement le risque de développer des maladies cardiovasculaires (MCV), ou d'autres pathologies, tels que le cancer du sein, le cancer colorectal, le diabète, l'obésité, l'asthme, la dysfonction érectile, la dépression et le déclin cognitif.

Ces effets protecteurs du régime méditerranéen traditionnel peuvent être encore plus bénéfiques sur la santé, par l'amélioration de ce modèle alimentaire, en remplaçant l'huile d'olive couramment utilisé par l'huile d'olive extra-vierge, en augmentant la consommation de noix, de poissons gras et de céréales à grains entiers et en réduisant l'apport en sodium.

Malheureusement, les changements au fil du temps dans le régime alimentaire des populations pointent vers une augmentation de la consommation d'aliments transformés et de graisses saturées et une diminution d'apport d'aliments d'origine végétale et des acides gras mono-insaturés apportés par l'huile d'olive. Les résultats sont alarmants, en particulier, en ce qui concerne les jeunes générations. En effet, les études chez les enfants et adolescents de la région méditerranéenne indiquent clairement que de fortes proportions de ces populations ont mal adhéré au régime alimentaire traditionnel. Par ailleurs, la mauvaise adhésion à ce régime, associée à l'obésité et à un niveau d'activité physique faible, semble affecter négativement le rendement scolaire chez les enfants.

Malgré toutes ces preuves associant le régime méditerranéen avec la réduction du risque cardiovasculaire et la prévention des principales maladies chroniques, les sociétés méditerranéennes se sont, néanmoins, retirées rapidement de ce modèle d'alimentation, en orientant leurs choix alimentaires vers des produits du modèle alimentaire occidental, riche en céréales raffinées, graisses animales, sucres, viandes transformées, mais très pauvres en légumineuses, céréales complètes, fruits et légumes. Parmi les causes possibles, l'augmentation des prix de certains des principaux produits alimentaires de la pyramide méditerranéenne semblent avoir conduit les gens à renoncer à ce modèle d'alimentation, en faveur de produits moins onéreux qui permettent de faire des économies, mais qui sont définitivement

malsains.

De nombreuses études suggèrent que la qualité de l'alimentation suit un gradient socio-économique mettant en évidence la façon dont les personnes défavorisées présentent des taux plus élevés d'obésité, de diabète, de MCV et certains types de cancer. Des études récentes ont montré une relation linéaire entre le coût de la nourriture et le respect des habitudes alimentaires et l'obésité.

En conclusion, l'intérêt de se rapprocher de l'alimentation méditerranéenne s'avère crucial pour une qualité de vie et une santé meilleure.

Malika BOUCHENAK
BOUCHENAK.Malika@san-dz.org



Alimentation méditerranéenne

Alimentation méditerranéenne et cancers

Mediterranean diet and cancers

*Mariette GERBER**

Chercheur Honoraire INSERM, Institut du Cancer, Montpellier. Expert à l'Anses L'Estradelle, 11510, Treilles, France

Reçu le 15 mai 2016, Révisé le 26 mai 2016, Accepté le 28 mai 2016.

*Auteur correspondant : mariette.gerber@sfr.fr

Résumé La prévention des cancers par l'alimentation est un objectif de santé publique essentiel, étant donné la large exposition des populations à ce facteur. Un rappel méthodologique portant sur la composition du modèle alimentaire méditerranéen et les méthodes d'évaluation de l'adhésion des populations à ce type d'alimentation est exposé. Le score original a été adapté aux diverses populations étudiées. Les modifications apportées sont riches d'enseignement sur les spécificités à considérer en relation avec la santé. Les études portant sur la mise en évidence de l'association entre alimentation méditerranéenne et la mortalité par cancers, l'incidence du cancer colorectal, du sein, de la prostate et d'autres cancers moins fréquents sont ensuite exposées. Si une réduction de risque est, généralement, évoquée pour ces événements pathologiques dans les pays méditerranéens, elle est plus difficile à mettre en évidence dans les pays occidentaux. Il faut de larges cohortes, où peut exister un groupe suffisant de sujets consommant « sain », et, plus encore l'introduction dans le groupe « aliments à réduire » d'aliments représentatifs de l'alimentation de type occidental, connus pour être délétères. On peut conclure qu'une consommation abondante et variée de fruits et de légumes, de légumineuses, de céréales non raffinées est essentielle, rappeler l'importance de l'huile d'olive, la nécessité bi-hebdomadaire de produits de la mer. La consommation de viande et de laitages et d'alcool doit rester modérée et il est important de diminuer fortement les aliments de type fast-food, riches en sucres, et graisses saturées, apportant des calories vides.

Mots clés : *Alimentation Méditerranéenne, Profils alimentaires, Mortalité, Cancers, Cancer du sein*

Abstract Cancer prevention through food habits is an important matter of public health, given that everybody is exposed to food. The Mediterranean diet model is briefly reported, together with the way to evaluate the adherence to this diet. However, the original score, made for Mediterranean populations, had to be adapted to Western populations. These modifications pinpoint the peculiar aspects of the Mediterranean diet related to health. The studies reporting on the relationship between Mediterranean diet and cancer mortality, colorectal, breast, prostate and other cancers incidence are described. A risk reduction is generally evoked for these outcomes in Mediterranean countries, but it is more difficult to show in US or North-European country. Enough subjects with sane food habits, capable to reveal an inverse association of a Mediterranean-style diet and cancers, might only be found in large cohorts. In addition, the group of “negative” foods in the score needs to include “junk food”, known to be deleterious, and often part of the habits in these occidental countries. In conclusion, it can be said that a high and diverse consumption of fruits, vegetables, legumes, whole grain cereals is a must, be underlined the importance of olive oil, be mentioned the advantage of eating sea-food at least twice-a-week. Consumption of red and processed meat, dairy foods, and alcohol should be kept low and it is important to avoid sugars, saturated fats, all junk-foods, providing empty calories.

Keywords : *Mediterranean diet, dietary patterns, mortality, cancers, breast cancer*

Introduction

Bien que moins affectés par l'incidence des cancers que les pays les plus développés, les pays moins développés voient l'incidence augmenter avec pour l'Afrique du Nord un taux d'incidence par 100000 estimé de 89,8 à 135,2 cas de cancers chez les hommes et de 76,1 à 96,3 chez les femmes, avec l'incidence la plus élevée du continent Africain pour le cancer du sein : 45,8 à 64,8 [1]. Cette transition épidémiologique va de pair avec la transition nutritionnelle. Les cancers restent la maladie la plus douloureusement vécue, de par son origine le plus souvent mal connue, et de par son caractère encore trop souvent inéluctable. A côté de ces aspects individuels, le coût économique et social de la maladie pèse lourdement sur la société. Tout cela souligne l'importance de la prévention.

Les cancers sont des maladies multifactorielles, et tous les facteurs ne sont pas forcément identifiés, ce qui complique l'approche de prévention, qui a pour but d'agir sur ces facteurs, soit qu'ils augmentent le risque soit qu'ils le diminuent. Dans certains cas, un facteur environnemental est majoritaire, comme dans la relation tabagisme et cancer du

poumon, et bien identifié en tant que cible de politique de prévention. Pour la plupart des cancers, le poids des facteurs alimentaires est assez faible et plus difficilement identifiable. Cependant, étant donné que tout le monde mange, le risque attribuable à ces facteurs dans l'incidence de certains cancers reste conséquent.

L'aspect multifactoriel de l'étiologie du cancer a pesé dans l'application de plus en plus fréquente de l'approche holistique par les profils alimentaires dans l'étude de l'association de l'apport alimentaire et des cancers.

Nous allons donc examiner la relation entre les cancers et un profil alimentaire qui a fait l'objet de nombreuses études en relation avec la santé, celui de l'alimentation méditerranéenne. Un rappel méthodologique porte sur la composition de l'alimentation méditerranéenne, sur l'évaluation de l'adhésion à cette alimentation par la méthode des profils alimentaires et sur les divers types d'études épidémiologiques retenus pour analyser la relation entre alimentation méditerranéenne et cancers. Les résultats de ces études seront ensuite exposés et discutés avec les hypothèses mécanistiques qui les sous-tendent.

Rappel méthodologique

L'alimentation méditerranéenne

Les anthropologues de la nutrition se plaisent à décrire la diversité alimentaire des différentes régions littorales Nord et Sud de la Méditerranée. Cependant, cette diversité repose majoritairement sur les différentes transformations de produits de base et les pratiques culinaires. Les nutritionnistes ont su reconnaître dans cette diversité apparente les aliments et nutriments essentiels pour élaborer le modèle méditerranéen :

- L'apport énergétique provient majoritairement des céréales (blé dur, riz) et légumineuses (pois chiche, haricots, lentilles) qui sont riches de glucides complexes, mais aussi contiennent des acides aminés destinés à l'élaboration des protéines. La combinaison céréales/légumineuses permet la synthèse de protéines de bonne qualité.
- Les fruits et légumes auxquels il faut ajouter les herbes sauvages et herbes aromatiques, sont, dans leur grande diversité, emblématiques de l'alimentation méditerranéenne
- Si la consommation de poissons, mollusques et crustacés est relativement fréquente, celle des autres produits animaux est modérée, et, que ce soit pour les produits laitiers ou la viande, les ovins et les caprins sont une source privilégiée.
- Le modèle méditerranéen ne saurait exister sans l'huile d'olive, dénominateur commun des alimentations méditerranéennes, seule huile de fruit parmi les huiles végétales d'usage courant.
- Pour les boissons, enfin, la consommation est différente entre la rive Nord de la Méditerranée, où le vin est la boisson habituelle, alors que c'est le thé, sur la rive Sud. Pourtant, si ce n'est pour l'alcool, la différence n'est pas si radicale : Les deux boissons contiennent des composés phénoliques semblables : catéchine et épicatechine.

Il faut ajouter que l'alimentation méditerranéenne est une partie de la « diète méditerranéenne », terme qui recouvre l'ensemble des caractéristiques d'un mode de vie : activité physique pour préserver l'équilibre énergétique et maintenir la sensibilité à l'insuline, et favoriser la synthèse de vitamine D, car pratiquée à l'extérieur. La convivialité et les rituels culturels du repas familial ou festif font partie de ce modèle bénéfique méditerranéen.

néen.

Les profils alimentaires

L'épidémiologie nutritionnelle, après avoir considéré d'abord les nutriments, puis chaque type d'aliments dans l'analyse de la relation entre alimentation et pathologies, a orienté sa recherche vers une approche holistique des facteurs alimentaires. Deux techniques ont été développées : *a posteriori* et *a priori*.

Profils alimentaires *a posteriori*

Dans cette méthode, on utilise les données nutritionnelles propres à la population étudiée. Ces données sont analysées le plus souvent par « analyse en composantes principales ». Cette technique met en évidence des groupes d'aliments corrélés, formant des combinaisons linéaires d'aliments qui dessinent un profil alimentaire. Pour chaque profil identifié, un score est calculé pour chaque sujet de la population étudiée, en additionnant la consommation de chaque aliment du profil pondéré par son coefficient dans la combinaison linéaire. Ce score évalue la conformité de l'alimentation de chaque sujet au profil identifié. La méthode *a posteriori* permet d'identifier des profils alimentaires à risque ou protecteurs dans l'étude de la relation alimentation/maladies, mais, si l'on recherche spécifiquement l'effet de l'alimentation méditerranéenne, on ne pourra l'observer que dans des populations méditerranéennes, ou dans des populations, comprenant une fraction suffisamment large de la population, consommant méditerranéen.

Profils alimentaires *a priori*

Cette méthode repose sur la construction d'un score fondé sur les aliments traditionnels méditerranéens. Deux caractéristiques permettent de distinguer les différents scores publiés en application à diverses populations :

L'une porte sur la liste des aliments. Cette liste comporte toujours les céréales, les fruits et légumes, le poisson, considérés comme favorables, des produits animaux sources d'acides gras saturés (AGS) (viandes toujours présentes, produits laitiers pas toujours), à consommer modérément. Pour les graisses ajoutées, soit le profil contient de l'huile d'olive [2], soit le rapport acides gras mono-insaturés sur acides gras saturés (AGMI/AGS) c'est le MDS [3], soit on étend le

numérateur aux AG poly-insaturés pour un rapport AGPI/AGS [4], c'est le MDS modifié (m-MDS). La liste peut présenter différents éléments dans les groupes d'aliments : par exemple, les pommes de terre sont présentes [3] ou non [5] dans le groupe légumes ; les jus de fruit présents [5] ou non [6] dans le groupe fruits ; si elle contient toujours la viande comme aliment dont la consommation doit être modérée, d'autres aliments, tels les boissons sucrées ont pu être ajoutés [7].

L'autre caractéristique discriminante porte sur l'identification du niveau de consommation de chacun des groupes d'aliments de la liste retenue comme profil alimentaire méditerranéen. Cette quantité requise déterminera le score obtenu par chaque participant. Dans certains cas, en s'appuyant sur les observations de la littérature, la valeur optimale de consommation retenue reçoit le meilleur score le plus élevé, score qui diminue avec la consommation : ex Huile d'olive g/jour : max 15, intermédiaire entre 5 et 15, inférieur moins de 5 [2]. Mais le plus souvent, le score retenu est dichotomique [3]. Il est déterminé par la valeur médiane (cut-off) de la consommation de chaque groupe d'aliments dans la population, et un score de 1 est attribué aux aliments favorables (fruits, légumes, céréales, poisson), pour une consommation \geq à la médiane et 0 pour les consommations inférieures, et inversement aux aliments à consommation modérée, 1 pour les consommations inférieures à la médiane et 0 pour une consommation \geq à la médiane. Au lieu d'être basé sur la médiane, le score peut se baser sur des tertiles, donnant 2 points à la quantité optimale consommée, 1 point au 2^{ème} tertile, et 0 pour la quantité minimale des aliments recommandés ou maximale des aliments négatifs. Dans tous les types de profil alimentaire *a priori* la valeur optimale de la consommation d'alcool est fixée, à $>10g$ et $<50g$ pour les hommes et $>5g$ and $<25g$ pour les femmes [3]. ou abaissée à : 0 point <5 and $\geq 15g$, 1 point pour une consommation de $5g$ à $<15g$ et identique pour les hommes et les femmes [5], Mais la consommation d'alcool peut aussi être absente du profil [8].

Le premier score dichotomique a été appliqué à une population de Grecs âgés, ayant une alimentation traditionnelle méditerranéenne et où le rapport MUFA/AGS représente la consommation de l'huile d'olive, pratiquement seul corps gras

utilisé. Pour cette population, ce rapport était un marqueur de la consommation d'huile d'olive [3]. L'application de ce score à des populations non méditerranéennes va se heurter à des difficultés et les diverses adaptations peuvent se révéler inopérantes [9]. En effet, si le rapport AGMI/AGS est en Grèce un marqueur de consommation de l'huile d'olive, ce n'est pas le cas dans les pays du Nord ou de l'Est de l'Europe, ni aux USA où les acides gras mono-insaturés proviennent essentiellement des produits animaux. Et si l'utilisation AGPI/AGS introduit les huiles végétales polyinsaturées, avec un effet bénéfique certain, notamment pour la mortalité et l'incidence des maladies cardio-vasculaires, ces huiles ont une composition très différente de celle de l'huile d'olive. Cette différence concerne les acides gras, mais plus encore, les composés phénoliques particuliers à l'huile d'olive. En outre, la consommation de certains des aliments à recommander peut être faible dans certaines populations résultant en un «cut-off» bas : Ceci est parfaitement illustré dans l'étude EPIC [4], portant sur 10 populations Européennes, la médiane de la consommation de légumes dans la population grecque était de 500 g, et celle de la médiane des autres populations de 157 g, avec en corollaire, une réduction du risque de la mortalité toutes causes, observée seulement dans la population grecque. L'impact de ces deux points dans les diverses adaptations proposées sera décrit pour chaque étude portant sur la relation de l'alimentation méditerranéenne avec une pathologie.

Les études épidémiologiques

Bien que les études descriptives et écologiques aient généré l'hypothèse de la relation entre alimentation et cancers, sont retenues préférentiellement, pour étayer l'analyse de la relation alimentation méditerranéenne et cancers, les études prospectives, qui permettent un suivi des participants, sur plusieurs années après l'évaluation de leur profil alimentaire. Ainsi, l'erreur de mesure liée à la mémoire est évitée et le laps de temps attendu entre l'exposition et l'événement observé est respecté. Les études cas-témoins ne présentent pas ces avantages et ne seront retenues que lorsqu'elles portent sur un grand nombre de cas et de témoins. Les autres

critères de sélection des études ont été la qualité du questionnaire alimentaire, comprenant au moins 100 items, et de l'analyse statistique, incluant des ajustements sur les facteurs de confusion classiques et spécifiques à l'analyse, éventuellement mis en évidence par une analyse uni-variée.

Relation entre alimentation méditerranéenne et cancers

Mortalité et cancers

Les données sur la mortalité, par cancers, sont plus faciles à obtenir, sur certificat de décès ou par un registre des cancers, plus rigoureuses que la simple déclaration d'incidence, qui doit s'accompagner d'une vérification par la consultation de dossiers médicaux pour être validée. Cependant, le taux de mortalité, s'il est directement lié à l'incidence, dépend aussi de l'accessibilité aux soins et de leur qualité.

Le tableau I rapporte les résultats de 10 études portant sur 8 cohortes. L'étude conduite en Grèce en 2003 [3] montre une réduction de risque significative de la mortalité, par cancers, en utilisant le MDS, alors que le même outil [10], ou modifié, soit par le rapport AGPI/AGS au lieu de AGMI/AGS [1], ne permet pas de mettre en évidence cet effet, quand appliqué dans les pays d'Europe du Nord en 2004, ni en Espagne en 2011, pourtant relativisé (rMDS) par l'introduction de l'huile d'olive et la prise en compte de l'énergie comme appliqué [12]. Il faut une modification portant sur les céréales (consommation de céréales complètes et l'ajustement sur l'apport calorique) pour observer une modeste réduction de la mortalité par cancer, chez les hommes seulement dans une population suédoise [13]. Les études conduites aux USA [14-18] ont adapté le MDS (aMDS) à la consommation de la population américaine, en limitant l'apport des céréales aux céréales complètes, évitant ainsi les calories vides et une charge glycémique plus élevée ; les pommes de terre ont été éliminées du groupe des légumes, ce faisant on éliminait les frites (French fries), soit une large part de « fast-food ». Avec cet aMDS, les 4 études conduites sur de très larges cohortes montrent une réduction de mortalité par cancers

significative [14-16, 18], mais pas quand le nombre de cancers est relativement faible [17], et ce malgré l'abandon de l'alcool dans le score. Une méta-analyse publiée en 2015 conclut à une réduction de risque de mortalité, par cancers entre les diverses études, qualifiée de cohérente, malgré une forte hétérogénéité : RR: 0,87 (0,81-0,93), $I^2 = 84%$, [19].

Ces résultats suggèrent que l'alimentation méditerranéenne traditionnelle, dans un contexte de style de vie méditerranéen, réduit le risque de mortalité par cancers, mais suggèrent que ce profil méditerranéen doit être adapté aux consommations et aux styles de vie occidentaux plus récents, notamment en identifiant des aliments à modérer sinon à éliminer.

Incidence des cancers

La recherche de l'association entre alimentation méditerranéenne et incidence des cancers a été étudiée dans l'étude multicentrique européenne EPIC avec le profil mMDS [20]. Le risque de l'ensemble de la population des 10 pays, suivi pour un temps médian de 8,7 ans était diminué de 4% (HR : 0,96 IC : 0,95-0,98), réduction largement induite par celle de la Grèce 14% (HR: 0.86 IC : 0.79 – 0.94), un autre pays, le Danemark montrant une réduction significative de 8%, les 6 autres pays montrant des résultats non significatifs.

On peut cependant s'interroger sur le sens d'une recherche portant sur l'ensemble des cancers, chaque site étant une maladie particulière, avec des facteurs de risque différents. C'est donc par site qu'il convient de rechercher la relation des cancers avec l'alimentation méditerranéenne.

La méta-analyse déjà citée [19] conclut sur une association significative entre cancer colorectal et alimentation méditerranéenne : RR : 0,83 (0,76-0,89).

Cancer colo-rectal

Quatre études prospectives ont été réalisées avec des profils *a priori*. Deux études américaines avec l'aMDS, l'une sur les cohortes des infirmières et des professionnels de santé (NHS et HPFS, [21]) ne montre pas d'association significative, l'autre sur la cohorte des retraités américains conduite par le NIH (NIH-AARP) montre une réduction de risque

chez les hommes (HR : 0,72 IC : 0,63-0,83), mais pas d'association significative chez les femmes [22]. L'étude EPIC, conduite avec le mMDS, montre une réduction de risque significative sur l'ensemble de la population (HR : 0,89 IC : 0,80-0,99), mais qui est non significative quand on l'étudie par sexe [23]. Enfin, l'étude d'Agnoli [24] a montré une

réduction de risque significative sur l'ensemble de la population (HR : 0,50 IC : 0,35-0,71) et chez les hommes (HR:0,54 IC : 0,93-0,96) et les femmes (HR :0,46 IC : 0,30-0,72). Cette étude a été conduite avec l'index méditerranéen italien [7] qui comporte des aliments largement utilisés dans l'alimentation italienne (abondance de tomates,

Tableau I. Alimentation Méditerranéenne et mortalité par cancers : confiance (IC)

Auteurs, Année, Pays,	DP type	Population	Nombre de décès, risque relatif et intervalle de confiance
Trichopoulou <i>et al.</i> , 2003 EPIC Grèce [3]	Original MDS	22043 55% < 55 ans 23% ≥ 65 ans Suivi : 44 mois	N = 97 0,76 (0,59-0,98)
Lagiou <i>et al</i> 2006 Uppsala Health Care Region, Sweden [10]	Original MDS	42 237 femmes 30–49 ans Suivi: 12 ans	N = 280 NS
Knoops <i>et al.</i> , 2004 The Hale project : Europe : SENECA+personnes âgées Finlande, Espagne, Pays-Bas [11]	m-MDS	H : 1507 F : 832 70 to 90 ans Suivi 12 ans	N = 233 NS
Buckland <i>et al</i> , 2011 Espagne cohorte EPIC Espagnole [12]	r-MDS	40622 29 à 69 ans Suivi : 13,4 ans	N = 913 NS
Tognon <i>et al.</i> , 2012 Sweden, study subarctic population [13]	m-MDS seulement céréales complètes ajusté : 2500 Kcal (H) 2,000 Kcal (F)	77,151 30–60 ans suivi median 9 ans	N = :974 H: 0,92 (0,87, 0,98) F: NS
Mitrou <i>et al.</i> , 2007 USA NIH-AARP cohort [14]	a-MDS	H : 214 284 F : 166 012 50 à 71 ans Suivi 5 ans	N = 5985 M : 0,83 (0,76-0,91) T < 0,01 F : 0,88 (0,78-1,00) T : 04
Reedy <i>et al.</i> , 2014 USA NIH-AARP cohort [15]	a-MDS	492 823 H : 242 321 F : 182 342 50 à 71 ans Suivi 15 ans	N = 29415 M : 0,80 (0,77, 0,84) W : 0,79 (0,74, 0,85)
George <i>et al.</i> , 2014 USA Women Health in initiative cohort [16]	a-MDS	F Mnp + : 63 805 50 à 79 ans Suivi: 12,9 ans	N = 2384 0,80 (0,70, 0,92) T: 0,001
Lopez-Garcia <i>et al.</i> , 2014 USA Health Professionals Follow- Up Study et Nurses' Health Study [17]	a-MDS	Sujets avec MCV H : 6137, 40 à 75 ans F : 11,278, 30 à 55 ans Suivi/ H : 7,7 ans F : 5,8 ans	H : N = 344 NS F : N = 197 NS
Harmon <i>et al.</i> , 2015 USA Multiethnic cohort [18]	a-MDS	215 782 Adultes Blancs, Afro-Américains, Hawaiiens, Nippo- et Latino- Américains 45 à 75 ans Suivi : 13-18 ans	N = 10883 H : N = 5853 F : N = 5030 H : 0,81 (0,75-0,89) F : 0,84 (0,76-0,92) Hawaiiens et Nippo- Américains NS

NS : non significatif ; Original MDS : [3] ; mMDS : rapport AGMI/AGS remplacé par AGMI+AGPI/AGS ; aMDS : seulement céréales complètes ; pommes de terre absentes du groupe légumes ; produits laitiers absents du score, quantités d'alcool diminuées : optimum entre 5 et 15 g. ; rMDS ; pommes de terre absentes du groupe légumes, jus de fruits absents du groupe fruits ; rapport AGMI/AGS remplacé par huile d'olive ; prise en compte de la densité énergétique des aliments consommés.

de légumes à feuilles, d'huile d'olive) et a introduit en consommation négative le beurre, les pommes de terre et les sodas, tandis qu'il recommandait une consommation plus faible en alcool (1 point pour 1 à 12 g d'alcool, 0 pour abstinence et > 12 g). On peut conclure que l'adhésion au profil méditerranéen traditionnel italien, spécifiquement adapté à la population méditerranéenne, dans laquelle l'étude est conduite, éliminant des aliments type fast-food et réduisant la consommation d'alcool, est associée à une réduction de risque du cancer colo-rectal. Les résultats avec le MDS ou le mMDS sont moins convaincants.

Cancer du sein

Le tableau II décrit 3 études prospectives, utilisant le profil alimentaire *a posteriori* et 7 utilisant le profil alimentaire *a priori*. Seule la première de ces études prospectives *a posteriori* [25] peut revendiquer un réel profil méditerranéen, avec apport d'huile d'olive. Elle montre une réduction de risque de cancer du sein significative pour l'ensemble de la cohorte de femmes ménopausées, avec des résultats intéressants dans les études en sous-groupes : la réduction de risque est plus marquée chez les femmes présentant une tumeur, sans récepteur pour la progestérone. Au contraire, pas d'effet, dès lors que l'apport énergétique, lié essentiellement à des aliments type fast-food, est > 2000 Kcal. L'étude australienne [26] apporte aussi un argument à la thèse selon laquelle une alimentation riche en fruits et légumes pourrait être un facteur de réduction de risque pour les tumeurs dépourvues de récepteurs hormonaux. L'étude de Pot *et al.*, [27] montre l'absence de consommation d'une alimentation qui pourrait être considérée comme méditerranéenne, dans cette population britannique.

Dans cette même population [27], comme dans une population suédoise [28], l'adhésion à l'alimentation méditerranéenne, mesurée par le profil alimentaire *a priori* MDS, ne montre pas d'association avec le cancer du sein. De même, le résultat est borderline avec un test de tendance non significatif, dans un échantillon de femmes non ménopausées anglaises [29]. Le profil alimentaire *a priori* aMDS, dans une population américaine de femmes ménopausées [5], est aussi borderline, mais avec un test de tendance signifi-

catif pour les femmes présentant une tumeur sans récepteurs hormonaux. Au contraire, les résultats montrent une association inverse significative avec le MDS, dans une population méditerranéenne [30], asiatique [31], et avec le arMDS dans l'étude EPIC [32], comprenant 10 populations européennes, dont 3 méditerranéennes (Grèce, Italie et Espagne). On peut relever quelques caractéristiques communes dans les études montrant une association significative du profil méditerranéen avec le cancer du sein : il s'agit de femmes ménopausées [5, 25, 30, 32], le profil alimentaire comprend l'huile d'olive [25, 30, 32], enfin la réduction de risque paraît plus forte dans le cas de tumeurs PR- ou ER- PR- [5,25, 26, 32], mais ceci ne peut être recherché que dans de larges cohortes. En effet, la proportion de tumeurs à récepteurs négatifs est généralement faible et le nombre de ces cas peut être insuffisant pour être analysé spécifiquement.

Les études cas-témoins soulignent le poids du lieu géographique, avec une population ayant conservé les traditions méditerranéennes, que ce soit avec des profils alimentaires *a posteriori* [33, 34] comparées à [35] ou *a priori* [34, 36]. L'une d'entre elles [34] souligne aussi l'importance de l'absence d'alcool et l'effet sur les tumeurs dépourvues de récepteurs hormonaux. La méta-analyse déjà citée [19] montre une réduction de risque associée seulement aux cancers ER-

Cet ensemble d'observations suggèrent que l'effet des facteurs alimentaires méditerranéens est plus facilement révélé et/ou plus efficace, quand le développement de la tumeur échappe tout ou en partie à l'influence hormonale. Il est également possible que l'huile d'olive joue un rôle particulier, comme le suggère également l'observation de la cohorte PREDIMED, montrant que seule l'alimentation méditerranéenne supplémentée par l'huile d'olive diminuait significativement le risque de cancers du sein chez ces femmes à risque cardio-vasculaire [37]. Notons aussi que dans 3 de ces études, la consommation d'alcool était fortement diminuée [5], ou faisant partie des aliments à éviter [31], ou non prise en compte dans le profil alimentaire *a priori* [32, 34]. Notons enfin que certaines études, soit ne considère que les céréales complètes [5], soit introduisent les glucides et les jus de fruits dans les aliments dont on doit modérer la consommation [31, 32, 36].

En conclusion, ces études suggèrent fortement que l'alimentation méditerranéenne, avec fruits et légumes, céréales complètes, huile d'olive et une consommation très modérée ou absente d'alcool et de boissons sucrées, participe à la réduction de risque de cancer du sein, même si l'importance du

facteur hormonal et des facteurs de risque qui en dépendent, reste prépondérante.

Cancer de la prostate

Quatre études prospectives ont recherché une

Tableau II. Alimentation Méditerranéenne et incidence des cancers du sein (Etudes prospectives)

Auteurs, Année, Pays,	DP type	Population	Nombre de décès, risque relatif et intervalle de confiance
Cottet <i>et al.</i> , 2009 France Etude E3N [25]	<i>A posteriori</i> Profil méditerranéen : Fruits, légumes crus et cuits, poisson, huile d'olive	65374 Mnp+ 45 à 60 ans suivi médian: 9,7 ans 2381 Cas	Ensemble de la cohorte : 0,85 (0,75-0,95) Femmes >2000 Kcal NS Tumeurs ER+PR- 0,65 (0,49-0,87)
Baglietto <i>et al.</i> , 2011 Australie [26]	<i>A posteriori</i> Profil « fruits, salades »	20967 40 à 69 ans suivi 13 à 17 ans 815 Cas	Ensemble de la cohorte: NS Tumeurs :ER-PR- 0,55 (0,32-0,93)
Pot <i>et al.</i> , 2014 UK dietary cohort consortium (4 cohortes) , [27]	<i>A posteriori</i> Pas de profil méditerranéen isolé	1891 témoins nichés dans cohortes âge moyen : 57 ± 9 610 cas	NA
Fung <i>et al.</i> , 2006 USA, NHS [5]	<i>A priori</i> aMDS	71 058 Mnp+ suivi: 18 ans 3580 cases 2367 : ER+ 575 : ER-	Tumeurs ER+ NS Tumeurs ER- 0,79 (0,60, 1,03) T : 0,03
Trichopoulou <i>et al.</i> , 2010, EPIC Grèce [30]	<i>A priori</i> MDS	14 807 8273 Mnp+ suivi 9.8 ans 240 cas	Ensemble :NS Mnp+ : par 2U Inc : 0,78 (0,62, 0,98)
Wu <i>et al.</i> , 2009, USA Femmes d'origine asiatique (31)	<i>A priori</i> MDS (+glucides dans le groupe d'aliments à modérer)	1148 témoins nichés dans la cohorte 1148 cas 25 à 74 ans	0.65 (0.44, 0.95)
Cade <i>et al.</i> , 2011 UK , Etude WCS [29]	<i>A priori</i> MDS	3373 35à 69 ans suivi 9 ans cas : 828	Femmes Mnp- : 0,65 (0,42-1,02) T : NS
Couto <i>et al.</i> , 2012 Suède, Women's Lifestyle and Health cohort [28]	<i>A priori</i> MDS	44 840 25 à 70 ans suivi 16 ans	NS
Buckland <i>et al.</i> , 2013 Europe EPIC [32]	<i>A priori</i> arMDS	335 062 Age moyen 51± 8 ans suivi 12 ans cas : 9,009 Mnp+ 1,018 ER-PR-	femmes ménopausées, 0,93 (0,87, 0,99); ER-PR-: 0,80 (0,65, 0,99)
Pot <i>et al.</i> , 2014 UK Dietary Cohorts Consortium (4 cohortes) [27]	<i>A priori</i> MDS	1891 témoins nichés dans 4 cohortes age moyen 57 ± 9 ans 610 cas	NS

NS : non significatif ; Original MDS : [3] ; mMDS : rapport AGMI/AGS remplacé par AGMI+AGPI/AGS ; aMDS : seulement céréales complètes ; pommes de terre absentes du groupe légumes ; produits laitiers absents du score, quantités d'alcool diminuées : optimum entre 5 et 15g. ; rMDS : pommes de terre absentes du groupe légumes, jus de fruits absents du groupe fruits ; rapport AGMI/AGS remplacé par huile d'olive ; prise en compte de la densité énergétique des aliments consommés ; Mnp+ : femmes ménopausées >50 ans

association entre cancer de la prostate et l'adhésion à l'alimentation méditerranéenne évaluée par le MDS [38], le mMDS [39, 40] et l'aMDS [41]. Aucune n'a montré d'association.

Autres cancers

Pour les autres cancers, on dispose de peu d'études, notamment prospectives. Pour les cancers des voies aéro-digestives supérieures, deux études cas-témoins [42, 43] montrent une réduction de risque significative, de même qu'une cohorte américaine [44]. Notons que d'autres index de qualité nutritionnelle, tous riches en fruits et légumes réduisent aussi le risque de cancers des voies aéro-digestives supérieures dans cette cohorte [44]. Une large étude prospective [45] a montré une réduction de risque significative du carcinome squameux de l'œsophage associé à la plus forte adhésion à l'alimentation méditerranéenne évaluée par l'aMDS. Il n'y avait pas d'association avec l'adénocarcinome gastrique dans cette étude, contrairement aux résultats montrant une réduction de risque des cancers gastriques observée dans une étude cas-témoins italienne (0,51 IC : 0,39-0,65 ; T : 0,0001) utilisant le MDS [46] et dans l'étude Européenne EPIC [47] utilisant le rMDS (0,67 IC : 0,47-0,94 ; T : 0,020), celle-ci étant due essentiellement à la localisation au cardia (0,45 IC : 0,21-0,91 ; T : 0,042).

Deux études ont recherché l'effet de l'alimentation méditerranéenne, évaluée par l'aMDS sur le cancer du poumon. Une étude conduite en Italie sur des gros fumeurs montre une réduction de risque mais le faible effectif ne lui permet pas d'atteindre la significativité [48]. La grande étude NIH-AARP a recherché cette association par 4 index d'alimentation méditerranéenne : l'aMDS, l'HEI et aHEI et DASH. Elle montre une réduction de risque significative très proche entre les 4 index, qui varie de 24 à 26% [49].

Enfin, dans la cohorte EPIC [50] avec le rMDS, il a été montré que l'alimentation méditerranéenne était associée avec le cancer de la vessie, mais chez les fumeurs seulement : HR : 0,66 IC : 0,47-0,93 [50].

On note que l'incidence de l'ensemble de ces cancers, qui sont des cancers épithéliaux pour lesquels un facteur de risque souvent évoqué est environnemental (tabac, alcool, bactéries, sol-

vants), tandis qu'un facteur de réduction de risque aussi fréquemment évoqué sont les antioxydants. On conçoit bien ce que l'alimentation méditerranéenne, riche en fruits et légumes, participe à la réduction de risque de ces cancers, mais aussi qu'un effet similaire est retrouvé pour les autres index d'alimentation saine [49], qui recommandent une forte consommation de fruits et légumes (HEI, AHEI et DASH).

Discussion-Conclusion

Qu'une alimentation de type méditerranéen exerce une influence favorable sur la mortalité par cancers, une réduction du risque d'incidence de certains cancers est fortement suggérée par cette revue. Cette proposition est sous-tendue par ce que nous savons des mécanismes de réduction de risque des cancers [51]. L'alimentation méditerranéenne est riche en antioxydants apportés par les fruits et légumes, vitamines B, C et micro-constituants, caroténoïdes et composés phénoliques qui s'opposent au stress oxydatif lié aux risques exogènes (tabac, alcool, pollutions environnementales ou microbiologiques), ou endogènes (maladies métaboliques, inflammation, vieillissement). Ils participent aussi à l'élimination des xénobiotiques [52] en agissant sur les enzymes qui les métabolisent (cytochromes, glutathion transférase et autres transférase). On a également montré expérimentalement que ces composés phénoliques avaient des propriétés anticarcinogéniques en participant à la répression de molécules impliquées dans la prolifération (PKC, c-Jun, c-FOS...), dans l'apoptose (les caspases) et dans l'inflammation (NFκB, COX-2). Certains d'entre eux, les lignanes, interagissent avec le métabolisme des estrogènes. Ceux-ci sont présents dans l'huile d'olive, notamment le pinoresinol [53], avec d'autres composés phénoliques très spécifiques l'oleuropeine, l'hydroxytyrosol, et en particulier l'oléocanthal aux propriétés anti-inflammatoires. Les légumes, mais surtout les légumineuses et les céréales (qui traditionnellement en Méditerranée étaient peu ou pas raffinées) apportent des fibres qui préviennent le cancer colo-rectal, mais aussi réduisent le risque des maladies métaboliques qui s'accompagnent d'insulino-résistance, entraînant la synthèse de

facteurs de prolifération (insuline, IGF-1). Enfin, la faible participation des aliments carnés à l'alimentation méditerranéenne diminue le possible effet délétère des amines hétérocycliques générées par leur cuisson. Toutes ces propriétés, démontrées expérimentalement soutiennent la plausibilité biologique des effets favorables de l'alimentation méditerranéenne observés en épidémiologie.

Mais une analyse plus fine tenant compte de la population étudiée et de l'outil utilisé et s'appuyant sur des hypothèses mécanistiques, permet de mieux comprendre la relation entre alimentation méditerranéenne et cancers.

Tout d'abord, la mortalité n'est modifiée par l'alimentation méditerranéenne que dans deux situations, i) il s'agit d'une population méditerranéenne, qui a encore conservé les traditions alimentaires, et d'après qui a été construit l'outil d'évaluation, le MDS [3] ; ii) dans de très larges cohortes, laissant espérer un échantillon suffisant de personnes gardant les éléments essentiels d'une alimentation saine [14-16, 18]. L'index méditerranéen utilisé a été adapté à la population mettant en évidence à la fois les aliments sains (céréales complètes, importance des fruits et légumes, peu de viande rouge et transformée) et en éliminant les aliments qui dans cette population peuvent être rattachés à une alimentation type fast-food (céréales raffinées, pommes de terre/frites, boissons sucrées, y compris jus de fruits industriels).

Le cancer le plus étudié est le cancer du sein. La réduction de risque est significative quand le profil méditerranéen comporte de l'huile d'olive [25, 30, 32], ce qui suggère l'activité anti-inflammatoire de l'oleocanthal et/ou celle des lignanes sur le métabolisme des estrogènes ; cette réduction de risque est également observée dans l'étude où sont diminués les glucides [31], pour diminuer la charge glycémique. L'élimination de certains aliments emblématiques d'une consommation riche en calories vides semble aussi un aspect important pour le cancer du sein [25, 31, 32]. Ces aspects, présence d'huile d'olive et élimination du profil des aliments riches en sucres ou en glucides amyliques, se retrouvent également dans l'étude sur le cancer colo-rectal [11].

On n'a pas encore observé de cancers de la prostate indépendants du facteur hormonal qui

pourrait éventuellement, comme les cancers du sein ER-, révéler l'effet bénéfique de l'alimentation méditerranéenne.

Les autres cancers, insuffisamment étudiés, notamment par des études prospectives, sont tous des carcinomes épithéliaux, pour lesquels un agent environnemental est en cause : tabac le plus souvent seul (poumon, vessie), ou associé à l'alcool (voies aéro-digestives supérieures, œsophage) ou pour l'estomac *Helicobacter pylori*, et aussi l'oxydation des nitrates alimentaires en nitrites. Pour tous ces cancers les antioxydants sont des facteurs de prévention prépondérants et l'on conçoit que l'abondance et la diversité des produits végétaux (légumes, fruits mais aussi herbes et épices) dans l'alimentation méditerranéenne puissent en être des facteurs importants.

En conclusion, l'alimentation méditerranéenne, avec sa diversité et son abondance de produits végétaux, l'apport de céréales complètes, de produits de la mer, d'huile d'olive, une consommation modérée de viande rouge et transformée, et d'alcool, surtout pour les femmes, est un adjuvant probable de la prévention des cancers, mais il faut préciser que ces avantages peuvent être perdus si ce profil alimentaire est accompagné d'un excès calorique et additionné d'aliments type fast-food. Enfin, cet adjuvant peut devenir inopérant si on ne respecte pas un style de vie qui élimine les facteurs environnementaux comme le tabac, et favorise l'exercice physique en combattant la sédentarité [54].

Conflits d'intérêts

Aucun

Références

1. Globocan, 2012 http://globocan.iarc.fr/Pages/fact_sheets_cancer.aspx
2. Gerber M., Scali J., Michaud A., Durand MD., Astre CM., Dallongeville J. *et al.* Profiles of a healthy diet and its relationship with biomarkers in a population sample from Mediterranean Southern France. *J Amer Diet Assoc* 2000; 100 :1164-71.
3. Trichopoulou A., Costacou T., Bamia C., Tricho-

- poulos D. Adherence to a Mediterranean diet and survival in a Greek population. *N Engl J Med* 2003; 348:2599-608.
4. Trichopoulou A., Orfanos P., Norat T., Bueno-de-Mesquita B., Ocké MC., Peeters PH. *et al.* Modified Mediterranean diet and survival: EPIC-elderly prospective cohort study. *BMJ* 2005; 330:991-8.
 5. Fung TT., Hu FB., McCullough ML., Newby PK., Willett WC., Holmes MD. Diet quality is associated with the risk of estrogen receptor-negative breast cancer in postmenopausal women. *J Nutr* 2006; 136 :466-72.
 6. Buckland G., González CA., Agudo A., Vilardell M., Berenguer A., Amiano P. *et al.* Adherence to the Mediterranean diet and risk of coronary heart disease in the Spanish EPIC Cohort Study. *Am J Epidemiol* 2009; 170 :1518-29.
 7. Agnoli C., Krogh V., Grioni S., Sieri S., Palli D., Masala G. *et al.* A priori-defined dietary patterns are associated with reduced risk of stroke in a large Italian cohort. *J Nutr* 2011; 141: 1552-8.
 8. Buckland G., Travier N., Cottet V., González CA., Luján-Barroso L., Agudo A. *et al.* Adherence to the mediterranean diet and risk of breast cancer in the European prospective investigation into cancer and nutrition cohort study. *Int J Cancer* 2013;132 :2918-27.
 9. Hoffman R., Gerber M. Evaluating and adapting the Mediterranean diet for non-Mediterranean populations: A critical appraisal. *Nutr Rev* 2013; 71 :573-84.
 10. Lagiou P., Trichopoulos D., Sandin S., Lagiou A., Mucci L, Wolk A. *et al.* Mediterranean dietary pattern and mortality among young women: a cohort study in Sweden. *Br J Nutr* 2006; 96:384-92.
 11. Knuops KT., de Groot LC., Kromhout D., Perrin AE., Moreiras-Varela O., Menotti A. *et al.* Mediterranean diet, lifestyle factors, and 10-year mortality in elderly European men and women: the HALE project. *JAMA* 2004; 292:1433-9.
 12. Buckland G., Agudo A., Travier N., Huerta JM., Cirera L., Tormo MJ. *et al.* Adherence to the Mediterranean diet reduces mortality in the Spanish cohort of the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC-Spain). *Br J Nutr* 2011;106 :1581-91.
 13. Tognon G., Nilsson LM., Lissner L., Johansson I., Hallmans G., Lindahl B. *et al.* The Mediterranean diet score and mortality are inversely associated in adults living in the subarctic region. *J Nutr* 2012;142 :1547-53.
 14. Mitrou PN., Kipnis V., Thiebaut AC., Reedy J., Subar AF., Wirfält E. *et al.* Mediterranean dietary pattern and prediction of all-cause mortality in a US population: results from the NIH-AARP Diet and Health Study. *Arch Intern Med* 2007;167:2461-8.
 15. Reedy J., Krebs-Smith SM., Miller PE. Higher diet quality is associated with decreased risk of all-cause, cardiovascular disease, and cancer mortality among older adults. *J Nutr* 2014;144: 881-9.
 16. George SM., Ballard-Barbash R., Manson JE. Comparing indices of diet quality with chronic disease mortality risk in postmenopausal women in the Women's Health Initiative Observational Study: evidence to inform national dietary guidance. *Am J Epidemiol* 2014;180 :616-25.
 17. Lopez-Garcia E., Rodriguez-Artalejo F., Li TY., Fung TT., Li S., Willett WC. *et al.* The Mediterranean-style dietary pattern and mortality among men and women with cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr* 2014;99: 172-80.
 18. Harmon BE., Boushey CJ., Shvetsov YB., Ettienne R., Reedy J., Wilkens LR. *et al.* Associations of key diet-quality indexes with mortality in the Multiethnic Cohort: the Dietary Patterns Methods Project. *Am J Clin Nutr* 2015;101 :587-97.
 19. Schwingshackl L., Hoffmann G. Adherence to Mediterranean diet and risk of cancer: an updated systematic review and meta-analysis of observational studies. *Cancer Med* 2015;4 : 1933-47.
 20. Couto E., Boffetta P., Lagiou P., Ferrari P., Buckland G., Overvad K. *et al.* Mediterranean dietary pattern and cancer risk in the EPIC cohort. *Br J Cancer* 2011;104 :1493-9.
 21. Fung TT., Hu FB., Wu K., Chiuve SE., Fuchs CS., Giovannucci E. *et al.* The Mediterranean and Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) diets and colorectal cancer. *Am J Clin Nutr* 2010; 92 :1429-35.
 22. Reedy J., Wirfält E., Flood A, Mitrou, PN., Krebs-Smith SM., Kipnis V. *et al.* Comparing 3

- dietary pattern methods--cluster analysis, factor analysis, and index analysis--With colorectal cancer risk: The NIH-AARP Diet and Health Study *Am J Epidemiol* 2010;171 :479-87.
23. Bamia C., Lagiou P., Buckland G., Grioni S., Agnoli C., Taylor AJ. *et al.* Mediterranean diet and colorectal cancer risk: results from a European cohort. *Eur J Epidemiol* 2013; 28 : 317-28.
 24. Agnoli C., Grioni S., Sieri S. Italian Mediterranean Index and risk colorectal cancer in the Italian section of the EPIC cohort. *Int J Cancer* 2013;132:1404-11.
 25. Cottet V., Touvier M., Fournier A., Touillaud MS., Lafay L., Clavel-Chapelon F. *et al.* Postmenopausal breast cancer risk and dietary patterns in the E3N-EPIC prospective cohort study. *Am J Epidemiol* 2009 ;170:1257-67.
 26. Baglietto L., Krishnan K., Severi G., Hodge A., Brinkman M., English DR. *et al.* Dietary patterns and risk of breast cancer. *Br J Cancer* 2011;104 :524-31.
 27. Pot GK., Stephen AM., Dahm CC., Key TJ., Cairns BJ., Burley VJ. *et al.* Dietary patterns derived with multiple methods from food diaries and breast cancer risk in the UK Dietary Cohort Consortium. *Eur J Clin Nutr* 2014;68 : 1353-8.
 28. Couto E., Sandin S., Löf M., Ursin G., Adami HO., Weiderpass E. *et al.* Mediterranean dietary pattern and risk of breast cancer. *PLoS One*. 2013;8e55374. journal.pone.0055374. Epub 2013 Feb 4
 29. Cade JE., Taylor EF., Burley VJ., Greenwood DC. Does the Mediterranean dietary pattern or the Healthy Diet Index influence the risk of breast cancer in a large British cohort of women? *Eur J Clin Nutr* 2011;65 : 920-8.
 30. Trichopoulou A., Bamia C., Lagiou P., Trichopoulos D. Conformity to traditional Mediterranean diet and breast cancer risk in the Greek EPIC (European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition) cohort. *Am J Clin Nutr* 2010;92 : 620-5.
 31. Wu AH., Yu MC., Tseng CC., Stanczyk FZ., Pike MC. Dietary patterns and breast cancer risk in Asian American women. *Am J Clin Nutr* 2009;89 : 1145-54.
 32. Buckland G., Travier N., Cottet V., González CA., Luján-Barroso L., Agudo A. *et al.* Adherence to the mediterranean diet and risk of breast cancer in the European prospective investigation into cancer and nutrition cohort study. *Int J Cancer* 2013;132 : 2918-27.
 33. Demetriou CA., Hadjisavvas A., Loizidou MA., Loucaides G., Neophytou I., Sieri S. *et al.* The mediterranean dietary pattern and breast cancer risk in Greek-Cypriot women: a case-control study. *BMC Cancer* 2012;12:113-7.
 34. Castelló A., Pollán M., Buijsse B., Ruiz A., Casas AM., Baena-Cañada JM. *et al.* Spanish Mediterranean diet and other dietary patterns and breast cancer risk: case-control EpiGEICAM study. *Br J Cancer* 2014;111 :1454-62.
 35. Bessaoud F., Daures JP., Gerber M. Dietary factors and breast cancer risk: a case control study among a population in Southern France. *Nutr Cancer* 2008;60:177-87.
 36. Mourouti N., *et al.* Dietary patterns and breast cancer: a case-control study in women. *Eur J Nutr* 2014 ;54(4):609-17.
 37. Toledo E., Salas-Salvadó J., Donat-Vargas C., Buil-Cosiales P., Estruch R., Ros E. *et al.* Mediterranean Diet and Invasive Breast Cancer Risk Among Women at High Cardiovascular Risk in the PREDIMED Trial: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Intern Med* 2015;175 :1752-60.
 38. Möller E., Galeone C., Andersson TM., Bellocco R., Adami HO., Andrén O. *et al.* Mediterranean Diet Score and prostate cancer risk in a Swedish population-based case-control study. *J Nutr Sci* 2013;2 : 1-13.
 39. Kenfield SA., DuPre N., Richman EL., Stampfer MJ., Chan JM., Giovannucci EL. *et al.* Mediterranean diet and prostate cancer risk and mortality in the Health Professionals Follow-up Study. *Eur Urol* 2014;65 :887-94.
 40. Ax E., Garmo H., Grundmark B., Bill-Axelsson A., Holmberg L., Becker W. *et al.* Dietary patterns and prostate cancer risk: report from the population based ULSAM cohort study of Swedish men. 2014;66 :77-87.
 41. Bosire C., Stampfer MJ., Subar AF., Park Y., Kirkpatrick SI., Chiuve SE. *et al.* Index-based dietary patterns and the risk of prostate cancer in the NIH-AARP diet and health study. *Am J Epidemiol* 2013;177 :504-13.
 42. Bosetti C., Gallus S., Trichopoulou A., Talamini R., Franceschi S., Negri E. *et al.* Influence of the

- Mediterranean diet on the risk of cancers of the upper aerodigestive tract. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2003;12 :1091-4.
43. Filomeno M., Bosetti C., Garavello W., Levi F., Galeone C., Negri E. *et al.* The role of a Mediterranean diet on the risk of oral and pharyngeal cancer. *Br J Cancer* 2014; 111 : 981-6.
44. Li WQ, Park Y., Wu JW., Goldstein AM., Taylor PR., Hollenbeck AR. *et al.* Index-based dietary patterns and risk of head and neck cancer in a large prospective study *Am J Clin Nutr* 2014; 99: 559-66.
45. Li WQ., Park Y., Wu JW., Ren J-S., Goldstein AM., Taylor PR. *et al.* Index-based dietary patterns and risk of esophageal and gastric cancer in a large cohort study *Clin Gastroenterol Hepatol* 2013;11: 1130-1136.e2.
46. Praud D., Bertuccio P., Bosetti C., Turati F., Ferraroni M., La Vecchia C. *et al.* Adherence to the Mediterranean diet and gastric cancer risk in Italy. *Int J Cancer* 2014;134 :2935-4.
47. Buckland G., Agudo A., Lujan L., Jakszyn P., Bueno-de-Mesquita HB., Palli D. *et al.* Adherence to a Mediterranean diet and risk of gastric adenocarcinoma within the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) cohort study. *Am J Clin Nutr* 2010;91:381-90.
48. Gnagnarella P., Maisonneuve P., Bellomi M., Rampinelli C., Bertolotti R., Spaggiari L. *et al.* Red meat, Mediterranean diet and lung cancer risk among heavy smokers in the COSMOS screening study. *Ann Oncol* 2013;24 : 2606-11.
49. Anic GM., Park Y., Subar AF., Schap TE., Reedy J. Index-based dietary patterns and risk of lung cancer in the NIH-AARP diet and health study. *Eur J Clin Nutr* 2016;70 :123-9.
50. Buckland G., Ros MM., Roswall N., Bueno-de-Mesquita HB., Travier N., Tjonneland A. *et al.* Adherence to the Mediterranean diet and risk of bladder cancer in the EPIC cohort study. *Int J Cancer* 2014 ; 134 : 2504-11.
51. Hoffman R., Gerber M. The Mediterranean Diet: Health and Science. Oxford, UK : Wiley-Blackwell ; 2012 , p. 1-401
52. Gerber M., Hoffman R. The Mediterranean diet: health, science and society. *BJN*; 2015;113 Suppl 2:S4-S10.
53. Hoffman R., Gerber M. Virgin olive oil as a source of phytoestrogens. *Eur J Clin Nutr* 2012 Oct;66(10):1180.
54. Buckland G., Travier N., Huerta JM., Bueno-de-Mesquita HB., Siersema PD., Skeie G. *et al.* Healthy lifestyle index and risk of gastric adenocarcinoma in the EPIC cohort study. *Int J Cancer*. 2015; 137 :598-6.

Comportement alimentaire

Existe-t-il une détection gustative des lipides alimentaires ?

Is there a gustatory detection of dietary lipids?

*Philippe BESNARD**

UMR Lipides/Nutrition/Cancer U866 INSERM/AgroSupDijon/Univ Bourgogne-Franche Comté. Physiologie de la Nutrition et Toxicologie (NUTox). AgroSup Dijon 1, Esplanade Erasme 21000 Dijon

Reçu le 09 mai, Révisé le 15 mai, Accepté le 17 mai 2016

*Auteur correspondant : pbesnard@u-bourgogne.fr

Résumé La présence de lipides dans les aliments les rend plus crémeux, onctueux et fondants, en bref plus appétants. Ce constat n'est pas anodin. Il indique que les lipides sont aisément perçus dans une matrice alimentaire qui peut être complexe. Jusqu'à une période récente, on pensait que seules la texture et l'odeur des lipides alimentaires étaient responsables de leur détection oro-sensorielle. Au cours de la dernière décennie, cette vision restrictive a progressivement été remise en cause par une série de données animales et humaines suggérant que la voie gustative pourrait être également impliquée dans ce phénomène. Après un rappel succinct sur le système gustatif, cette mini-revue se propose de faire un point à date sur une question polémique : existe-t-il un goût du gras ?

Mots Clés : *Lipide, Lipido-récepteurs, Bourgeons du goût, Comportement alimentaire, Santé.*

Abstract The presence of lipids helps to make food more smooth, creamy and melting, in brief more palatable. This finding is not trivial. It indicates that lipids are easily perceived in a food matrix, which may be complex. During a long time, the oro-sensory detection of dietary lipids was thought to take place only through textural and retronasal olfactory cues. Over the last decade, this restrictive vision has gradually been challenged by a set of animal and human data suggesting that the gustatory pathway may also be involved in this phenomenon. After few reminders about the gustatory pathway, this mini-review will propose a short overview on a controversial question: is there a taste for fat?

Keywords: *Lipids, Lipid sensors, Taste buds, Eating behavior, Health.*

Introduction

La composition chimique des aliments joue un rôle essentiel dans les choix alimentaires chez le mammifère. Elle est perçue grâce à l'intégration d'informations précoces d'origine olfactive, somesthésique (texture, température, piquant) et gustative, déclenchées dès la mise en bouche de l'aliment, et de signaux neuro-endocrines et métaboliques plus tardifs car d'origine post-ingestive et post-absorptive (Fig. 1). L'ensemble de ces informations converge vers des zones spécifiques du système nerveux central pour y être intégré, suscitant ainsi des réponses comportementales stéréotypées (préférence, aversion, faim, rassasiement, satiété). En bref, quand il en a l'opportunité, le mammifère choisit préférentiellement ses aliments en fonction de leurs caractéristiques hédoniques, physico-chimiques et nutritionnelles (palatabilité, digestibilité, composition en nutriments, efficacité métabolique, absence de toxiques). La perception des graisses n'échappe pas à cette complexité. Paradoxalement, on a longtemps pensé que seules la texture et l'odeur des lipides étaient responsables de leur détection orale contribuant ainsi à leur effet attractif. Des données récentes, obtenues à la fois chez les rongeurs (rats, souris) et chez l'Homme, suggèrent que la voie gustation est également impliquée dans la détection oro-sensorielle des lipides alimentaires [1].

Aperçu du système gustatif

La perception gustative des cinq saveurs primaires (sucré, salé, amer, acide et umami - goût induit par certains acides aminés comme le glutamate) est assurée par trois sortes de papilles gustatives : les papilles fongiformes, situées dans les 2/3 antérieurs de la langue, les papilles foliées et les caliciformes, qui ont respectivement une localisation postéro-latérale et centrale (Fig.1-1). Les bourgeons du goût, qui équipent ces papilles, sont constitués de quelques dizaines de cellules dont la partie apicale de certaines d'entre elles, en contact avec la salive, contient des « capteurs » responsables de la détection des molécules sapides (Fig. 1-2). Au cours d'un repas, l'activation de ces cellules

réceptrices gustatives se traduit par une augmentation de leur concentration intracellulaire en calcium ionisé (Ca^{2+}_i). Ce changement est à l'origine de la sécrétion de neuromédiateurs engendrant l'apparition de potentiels d'action au niveau des fibres gustatives afférentes de la corde du tympan et du glosso-pharyngien (nerfs craniens VII & IX (Fig. 1-3). Après avoir transitée par le noyau du tractus solitaire (NTS) bulbaire, l'information gustative est traitée par différentes aires cérébrales, notamment par l'axe cortico-mésolimbique à l'origine de la dimension émotionnelle (i.e. plaisir/motivation/mémorisation) du comportement alimentaire (Fig.1-4). Le traitement de l'information gustative par ce «cerveau émotionnel» permet d'évaluer la palatabilité des aliments, c'est à dire le plaisir potentiel qu'ils peuvent procurer lors de leur consommation. A cette information oro-sensorielle viennent s'ajouter des signaux internes de faim, de rassasiement et de satiété dont l'intégration par l'hypothalamus («cerveau métabolique») permet d'adapter la prise alimentaire aux besoins énergétiques de l'organisme (Fig. 1-5). L'intégration des signaux externes, notamment d'origine gustative, au niveau de l'hypothalamus et de certains signaux humoraux (e.g. leptine) au niveau du système cortico-mésolimbique participe au dialogue entre le «cerveau émotionnel» et le «cerveau énergétique» permettant ainsi de relier la satisfaction hédonique au «bien être métabolique» escompté pour un aliment donné et donc de déclencher la décision de le consommer ou pas (Fig. 1-6). Le NTS renvoie également des informations d'origine oro-sensorielles vers le tractus digestif *via* des efférences vagues (Fig. 1-7). Cette voie réflexe active par anticipation diverses sécrétions digestives préparant ainsi le tube digestif à l'arrivée du bol alimentaire.

Le paradigme du « Goût du gras »

Au cours de la dernière décennie, un effort considérable a été réalisé afin de mieux cerner les mécanismes responsables de la détection oro-sensorielle des lipides alimentaires. Ces travaux ont débouché sur une hypothèse inattendue et encore discutée: l'existence possible d'une sixième

me modalité gustative dédiée à la perception du «gras».

Mais quelles sont les caractéristiques requises pour définir un goût primaire ? Compte tenu de nos connaissances actuelles du système gustatif succinctement rappelé précédemment, les conditions minimales suivantes peuvent être proposées [2, 3]: un stimulus spécifique, un mécanisme chimio-réception, une cascade de signalisation cellulaire, une implication du circuit nerveux gustatif, une réponse physiologique, une régulation et une sensation gustative unique.

hydrolyse partielle des triglycérides (TG) constitutifs des graisses alimentaires soit une étape nécessaire pour optimiser la détection oro-sensorielle des lipides. L'utilisation d'inhibiteurs pharmacologiques des triglycérides lipases a effectivement permis de confirmer l'existence d'une activité lipasique au niveau de la cavité orale affectant la détection des graisses alimentaires chez la souris [7] et chez l'Homme [8]. En bref, les AGLC jouent un rôle clé dans la détection oro-sensorielle des lipides alimentaires.

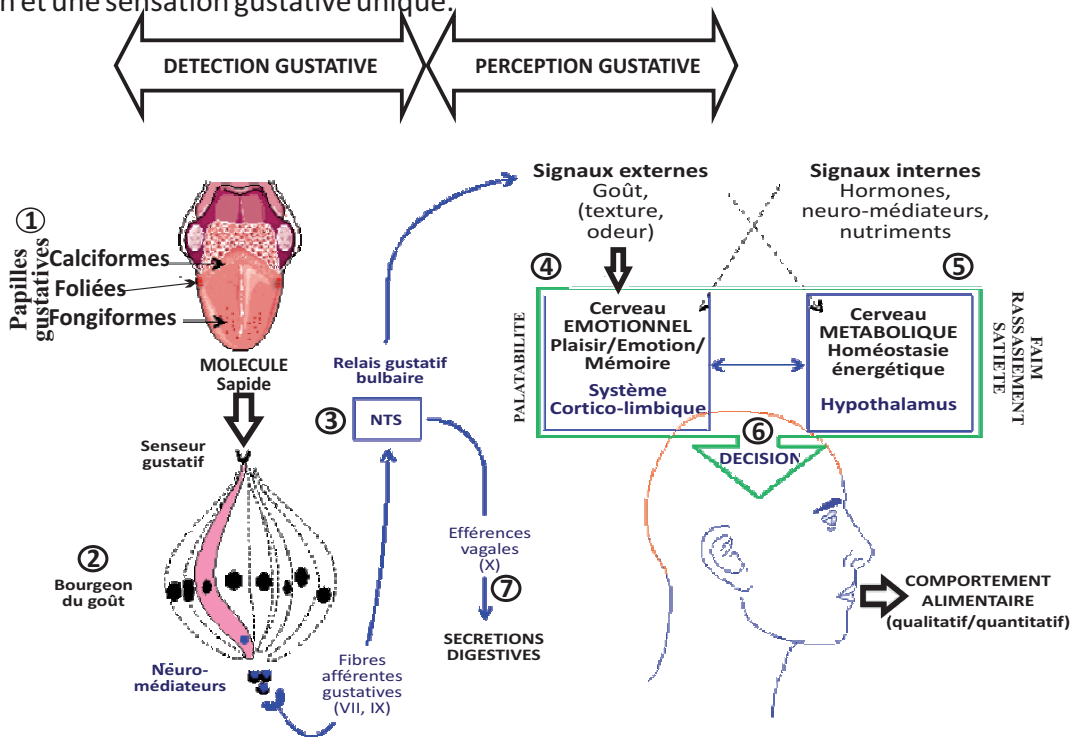


Fig. 1. Circuit gustatif et conséquences physiologiques sur le comportement alimentaire et les sécrétions digestives

1- papilles gustatives ; 2- bourgeons du goût ; 3- NTS, noyau du tractus solitaire ; 4- cerveau « émotionnel » ; 5- cerveau « métabolique » ; 6- intégration des informations sensorielles et métaboliques aboutissant à la décision de consommer ou pas l'aliment ; 7- Arc réflexe provoquant par anticipation l'induction de sécrétions digestives.

La détection gustative périphérique implique les étapes 1 à 3. La perception gustative centrale requiert les étapes 3 et 4.

Un stimulus lipidique spécifique

Bien que les graisses alimentaires soient presque exclusivement constituées de triglycérides (TG), ce sont les acides gras libres (AGL), plus particulièrement les acides gras à longue chaîne (AGLC, nombre de carbone ≥ 16) qui sont le mieux détectés lors de tests oraux minimisant les influences texturales, olfactives et post-ingestives chez la souris [4], le rat [5] et l'homme [6]. Les AGL sont naturellement présents sous forme de traces dans l'alimentation saine. Il était donc probable qu'une

Un mécanisme de chimio-réception

Certaines cellules réceptrices gustatives expriment des lipido-récepteurs capables de lier les AGLC avec une grande affinité. La glycoprotéine CD36 a été la première à être identifiée au niveau des papilles gustatives chez le rat [9], la souris [10] et chez l'homme [11]. Le rôle du CD36 en tant que senseur lipidique gustatif est supporté par le fait que la détection orale des AGLC est étroitement liée au niveau d'expression de cette protéine. En effet, l'invalidation totale du gène codant pour le

CD36 chez la souris [10], ou la réduction ciblée du CD36 au niveau lingual au moyen de d'ARN interférents chez le rat [12] rends les animaux incapables de détecter correctement les sources d'AGLC lors de tests comportementaux. De façon comparable, le polymorphisme nucléotidique rs1761667 du gène CD36, connu pour entraîner une chute de son expression [13], est associé à une élévation du seuil de détection (i.e. réduction de la sensibilité) des AGCL chez l'homme [8].

Un autre lipido-récepteur, le GPR120 également appelé Free Fatty Acid Receptor-4 (FFAR4), a été identifié plus récemment au niveau de cellules réceptrices gustatives chez la souris [14] et chez l'homme [15]. Cependant son rôle dans la détection oro-sensorielle des lipides reste discutable. En effet, les résultats initiaux montrant que l'absence de GPR120/FFAR4 affecte la détection orale des AGLC chez la souris [14] n'ont pas été confirmés [16,17].

Une cascade de signalisation cellulaire

La transduction du signal lipidique a été étudiée par imagerie calcique sur cellules gustatives CD36-positives isolées à partir de papilles caliciformes isolées par immuno-magnétisme. Une augmentation rapide et soutenue de la (Ca^{2+}) est déclenchée de façon CD36 dépendante en présence d'AGLC au niveau de cellules murines [18,19] et humaines [20]. Ce changement entraîne une dépolarisation transitoire de la cellule gustative à l'origine de la sécrétion de neuro-médiateurs [1].

Une implication du circuit nerveux gustatif

Le relargage de neuromédiateurs par les cellules réceptrices gustatives est à l'origine d'un signal lipidique empruntant par la voie nerveuse gustative périphérique (Fig. 1). En effet, une augmentation de l'activité électrique des nerfs gustatifs a été mise en évidence chez la souris après un dépôt oral d'AGLC [14]. De plus, les souris dont les nerfs gustatifs (*VII et du IX*) ont été sectionnés ne sont plus capables de détecter la présence d'AGLC lors de tests de double choix. Enfin, en utilisant comme marqueur de l'activation neuronale la protéine Fos, il a été montré que le signal lipidique transite par le NTS, connu pour être le premier relais gustatif au niveau central [18] (Fig. 1).

Chez l'homme, l'imagerie fonctionnelle a été utilisée pour identifier les aires cérébrales répondant à une stimulation lipidique orale. Une activation de l'insula et du cortex orbito-frontal correspondant respectivement aux centres gustatifs primaire et secondaire a été observée [21]. Toutefois, les neurones identifiés étant principalement sensibles aux changements texturaux, il a été postulé que l'activation induite par la présence de lipides en bouche était plutôt d'origine texturale que gustative [22]. Une autre étude a mis en évidence une corrélation positive entre l'activation de l'insula et la concentration d'un stimulus lipidique. L'expérience ayant été réalisée avec des émulsions lipidiques de texture constante, il a été suggéré que les lipides eux-mêmes étaient capables de produire un stimulus chimio-sensoriel unique reconnu par le cortex gustatif primaire [23]. L'origine des conclusions contradictoires de ces deux études est probablement d'ordre méthodologique. Des travaux complémentaires sont donc requis pour déterminer si des neurones répondant à une stimulation lipidique orale existent dans des zones cérébrales connues pour être impliquées dans la perception gustative. Une telle démonstration risque d'être complexe puisqu'il est connu que de nombreux neurones sont capables de répondre à différents stimuli sensoriels chez les primates [22].

Une réponse physiologique

L'existence d'un lien entre l'efficacité de la lipido-détection orale et les choix alimentaires a été suggérée par certaines études, une performance oro-sensorielle médiocre étant généralement associée à une consommation accrue d'aliments gras. Par exemple, une corrélation inverse entre l'efficacité de la détection orale des lipides et la consommation préférentielle d'aliments gras a été trouvée chez le rat [24] et chez l'homme [25]. Le CD36 oral pourrait jouer un rôle dans ce phénomène. En effet, les sujets identifiés comme étant hypo-sensibles aux lipides, car porteurs du polymorphisme génétique délétère rs1761667 connu pour diminuer l'expression du gène codant pour Cd36, [8] ont tendance à surconsommer des aliments gras [26]. L'origine de ce changement comportemental n'est pas clairement établie. Il s'agit probablement d'un phénomène compensa

toire destiné à atteindre un seuil hédonique satisfaisant.

La fonction digestive est également en partie tributaire de la détection oro-sensorielle des lipides alimentaires. Il s'agit d'un arc réflexe (langue/NTS/tractus digestif) (Fig. 1-7), anticipant l'arrivée du bol alimentaire au niveau l'organisme. Il a été notamment montré, chez la souris à jeun, qu'une stimulation orale avec un AGCL déclenche une augmentation rapide, mais transitoire, des sécrétions pancréato-biliaires [10]. Le fait que ce changement n'est pas reproduit chez les souris CD36^{-/-} confirme le rôle clé joué par ce lipido-récepteur dans la détection orale des AGLC [10]. Chez des volontaires à jeun, la présence de lipides en bouche est suffisante pour induire une augmentation transitoire de la triglycéridémie [27]. On ignore actuellement l'intérêt physiologique de ce changement.

Une régulation

Pour être physiologiquement crédible, la détection gustative des lipides doit être modulable en fonction des besoins de l'organisme. Chez la souris, il existe une variation nyctémérale de la teneur en CD36 niveau des papilles gustatives caliciformes [28]. Une chute du CD36 oral est observée pendant la phase nocturne connue pour être une période où consommation alimentaire est soutenue dans cette espèce. Ce phénomène, strictement dépendant de la présence de lipides dans le régime, n'est pas la conséquence d'une régulation post-orale. En effet, un dépôt direct d'huile sur la langue est suffisant pour déclencher la chute de la protéine CD36 au niveau des bourgeons du goût en dépit de l'absence de toute ingestion [28]. Comme pour de nombreux autres récepteurs, cette régulation pourrait se traduire par une désensibilisation progressive du système responsable de la lipido-détection orale suite à une exposition persistante aux lipides alimentaires. En accord avec cette hypothèse, il a été constaté que l'ampleur de la baisse de CD36 dans la papille caliciforme est suffisante pour induire une diminution de la préférence pour les lipides [28]. On peut donc penser que ce changement pourrait

moduler la motivation de consommer les aliments gras, laquelle diminuerait progressivement au cours du repas. Ce scénario n'est pas sans rappeler la notion de satiété sensorielle spécifique, à savoir la baisse temporaire du plaisir à consommer un aliment donné par rapport à d'autres aliments non encore consommés [29].

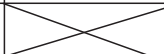
L'efficacité du système de détection des lipides alimentaires est également sous contrôle hormonal. En effet, il a été montré chez la souris [30] que le glucagon-like peptide 1 (GLP-1), la ghréline [31] et les endocannabinoïdes [32] augmentent la sensibilité aux lipides, alors que la leptine la diminue [33]. En résumé, la détection des lipides alimentaires semble être étroitement contrôlée chez les rongeurs. On ignore actuellement si c'est aussi le cas chez l'homme.

Une sensation gustative unique

Bien que la présence d'AGLC au niveau de la cavité orale soit identifiable chez l'homme, en absence de toutes influences texturales et olfactives majeures [6], les sujets ont généralement du mal à verbaliser précisément leur ressenti gustatif. En effet, cette sensation manque de descripteurs standardisés. Le «gras» est, de ce point de vue, assez comparable à l'umami qui est pourtant considéré comme un goût primaire [2]. La perception oro-sensorielle des AGLC ne semble donc pas être spontanément identifiable chez l'homme. Cependant, en utilisant comme outil d'analyse du ressenti gustatif une carte perceptuelle, Richard Mattes et ses collègues de l'Université de Purdue (USA) ont récemment montré que les AGLC sont capables de générer des oro-sensations différentes des autres goûts primaires [34]. Ce résultat inédit doit être confirmé par d'autres études.

Comme le résume le Tableau I, le «gras» remplit l'essentiel des conditions requises pour être considéré comme une modalité gustative à part entière, du moins chez le rongeur. En revanche, les données restent encore insuffisantes pour affirmer qu'il existe bien un «goût du gras» chez l'homme.

Tableau I. Conditions minimales pour considérer qu'une oro-sensation est potentiellement un goût primaire. Analyse des données obtenues chez les rongeurs et chez l'homme.

	Rat, souris	Homme
1- Stimulus spécifique	✓	✓
2- Système de chimioréception	✓	✓
3- Cascade de signalisation	✓	✓
4- Mobilisation de la voie nerveuse gustative	✓	✓
5- Effet physiologique	✓	✓
6- Régulation	✓	?
7- Sensation gustative spécifique		✓

Conclusions et perspectives

Les résultats convergents obtenus à ce jour par différentes équipes indiquent qu'il existe bien une oro-détection des lipides alimentaires impliquant la voie gustative. Il s'agit d'un système complexe composé d'au moins deux lipido-récepteurs appartenant à des familles protéiques différentes. En modulant le seuil de détection des lipides, ce «sensing» oral semble jouer un rôle dans les choix alimentaires.

Alors, existe-t-il un «goût du gras»? Au regard des conditions requises pour définir une saveur primaire, il serait tentant de répondre par l'affirmative. Cependant, cet axe de recherche suscite encore de nombreuses questions qu'il faudra explorer avant de pouvoir donner une réponse définitive. Quels sont les rôles respectifs du CD36 et GPR120 au niveau des papilles gustatives? Est-ce que d'autres systèmes de senseurs lipidiques sensibles, par exemple, aux acides gras à chaîne moyenne ou à chaîne courte sont présents au niveau des bourgeons du goût?

La lipido-détection orale influence-t-elle la perception d'autres saveurs? Existe-t-il une relation entre le seuil de détection des lipides, la consommation d'aliments gras et l'obésité?

Quoiqu'il en soit, une meilleure caractérisation des mécanismes moléculaires et des conséquences

physiologiques de ce «sensing» oral des lipides alimentaires pourrait déboucher, à terme, sur des stratégies nutritionnelles et/ou pharmacologiques inédites visant à corriger des comportements alimentaires à risque pour la santé.

Conflit d'intérêts

Aucun

Références

1. Besnard P., Passilly-Degrace P., Khan NA. Taste of Fat: A Sixth Taste Modality? *Physiol Rev* 2016; 96:151-76.
2. Mattes RD. Accumulating evidence supports a taste component for free fatty acids in humans. *Physiol Behav* 2011; 104:624-31.
3. Passilly-Degrace P., Chevrot M., Bernard A., Ancel D., Martin C., Besnard P. Is the taste of fat regulated? *Biochimie* 2014; 96:3-7.
4. Takeda M., Imaizumi M., Fushiki T. Preference for vegetable oils in the two-bottle choice test in mice. *Life Sciences* 2000; 67:197-204.
5. Fukuwatari T., Shibata K., Iguchi K., Saeki T., Iwata A., Tani K. *et al.* Role of gustation in the recognition of oleate and triolein in anosmic rats. *Physiol Behav* 2003; 78:579-83.
6. Chale-Rush A., Burgess JR., Mattes RD. Evidence for human orosensory (taste?) sensitivity to free fatty acids. *Chem Senses* 2007; 32:423-31.
7. Kawai T., Fushiki T. Importance of lipolysis in oral cavity for orosensory detection of fat. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2003; 285: R447-R54.
8. Pepino MY., Love-Gregory L., Klein S., Abumrad NA. The fatty acid translocase gene CD36 and lingual lipase influence oral sensitivity to fat in obese subjects. *J Lipid Res* 2012; 53:561-66.
9. Fukuwatari T., Kawada T., Tsuruta M., Hiraoka T., Iwanaga T., Sugimoto E., Fushiki T. Expression of the putative membrane fatty acid transporter (FAT) in taste buds of the circumvallate papillae in rats. *FEBS letters* 1997; 414:461-4.

10. Laugerette F., Passilly-Degrace P., Patris B., Niot I., Febbraio M., Montmayeur JP., Besnard P. CD36 involvement in orosensory detection of dietary lipids, spontaneous fat preference, and digestive secretions. *J Clin Invest* 2005; 115:3177-84.
11. Simons PJ., Kummer JA., Luiken JJ., Boon L. Apical CD36 immunolocalization in human and porcine taste buds from circumvallate and foliate papillae. *Acta Histochemica* 2011; 113:839-43.
12. Chen CS., Bench EM., Allerton TD., Schreiber AL., Arceneaux KP.3rd., Primeaux SD. Preference for linoleic acid in obesity-prone and obesity-resistant rats is attenuated by the reduction of CD36 on the tongue. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2013; 305:R1346-55.
13. Love-Gregory L., Abumrad NA. CD36 genetics and the metabolic complications of obesity. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2011; 14:527-34.
14. Cartoni C., Yasumatsu K., Ohkuri T., Shigemura N., Yoshida R., Godinot N. *et al.* Taste preference for fatty acids is mediated by GPR40 and GPR120. *J Neurosci* 2010; 30:8376-82.
15. Galindo MM., Voigt N., Stein J., van Lengerich J., Raguse JD., Hofmann T. *et al.* G protein-coupled receptors in human fat taste perception. *Chem Senses* 2012; 37:123-39.
16. Sclafani A., Zukerman S., Ackroff K. GPR40 and GPR120 fatty acid sensors are critical for postoral but not oral mediation of fat preferences in the mouse. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2013; 305:R1490-7.
17. Ancel D., Bernard A., Subramaniam S., Hirasawa A., Tsujimoto G., Hashimoto T. *et al.* The oral lipid sensor GPR120 is not indispensable for the orosensory detection of dietary lipids in the mouse. *J Lipid Res* 2015; 56(2):369-78.
18. Gaillard D., Laugerette F., Darcel N., El-Yassimi A., Passilly-Degrace P., Hichami A. *et al.* The gustatory pathway is involved in CD36-mediated orosensory perception of long-chain fatty acids in the mouse. *FASEB J* 2008; 22:1458-68.
19. El-Yassimi A., Hichami A., Besnard P., Khan NA. Linoleic acid induces calcium signaling, Src kinase phosphorylation, and neurotransmitter release in mouse CD36-positive gustatory cells. *J Biol Chem* 2008; 283:12949-59.
20. Ozdener MH., Subramaniam S., Sundaresan S., Sery O., Hashimoto T., Asakawa Y. *et al.* CD36- and GPR120-mediated Ca(2)(+) signaling in human taste bud cells mediates differential responses to fatty acids and is altered in obese mice. *Gastroenterol* 2014; 146:995-1005.
21. De Araujo IE., Rolls ET. Representation in the human brain of food texture and oral fat. *J Neurosci* 2004; 24:3086-93.
22. Rolls ET. Mechanisms for sensing fat in food in the mouth: Presented at the Symposium "The Taste for Fat: New Discoveries on the Role of Fat in Sensory Perception, Metabolism, Sensory Pleasure and Beyond" held at the Institute of Food Technologists 2011 Annual Meeting, New Orleans, LA, USA., June 12, 2011. *J Food Sci* 2012; 77:S140-2.
23. Eldeghaidy S., Marciani L., McGlone F., Hollowood T., Hort J., Head K. *et al.* The cortical response to the oral perception of fat emulsions and the effect of taster status. *J Neurophysiol* 2011; 105:2572-81.
24. Shin AC., Berthoud HR. Food reward functions as affected by obesity and bariatric surgery. *Int J Obesity* 2011; 35(Suppl 3):S40-4.
25. Chevrot M., Passilly-Degrace P., Ancel D., Bernard A., Enderli G., Gomes M. *et al.* Obesity interferes with the orosensory detection of long-chain fatty acids in humans. *Am J Clin Nutr* 2014; 99:975-83.
26. Keller KL., Liang LC., Sakimura J., May D., van Belle C., Breen C. *et al.* Common variants in the CD36 gene are associated with oral fat perception, fat preferences, and obesity in African Americans. *Obesity* 2012; 20:1066-73.
27. Mattes RD. Brief oral stimulation, but especially oral fat exposure, elevates serum triglycerides in humans. *Am J Physiol Gastrointestinal Liver Physiol* 2009; 296:G365-371
28. Martin C., Passilly-Degrace P., Gaillard D., Merlin JF., Chevrot M., Besnard P. The lipid-sensor candidates CD36 and GPR120 are differentially regulated by dietary lipids in mouse taste buds: impact on spontaneous fat preference. *PLoS one* 2011; 6:e24014.
29. Rolls BJ., Rowe EA., Rolls ET., Kingston B., Megson A., Gunary R. Variety in a meal enhances

- ces food intake in man. *Physiol Behav* 1981; 26:215-21.
30. Martin C., Passilly-Degrace P., Chevrot M., Ancel D., Sparks SM., Drucker DJ., Besnard P. Lipid-mediated release of GLP-1 by mouse taste buds from circumvallate papillae: putative involvement of GPR120 and impact on taste sensitivity. *J Lipid Res* 2012; 53:2256-65.
31. Cai H., Cong WN., Daimon CM., Wang R., Tschop MH., Seigniny J. *et al.* Altered lipid and salt taste responsivity in ghrelin and GOAT null mice. *PloSone* 2013; 8:e76553.
32. DiPatrizio NV., Joslin A., Jung KM., Piomelli D. Endocannabinoid signaling in the gut mediates preference for dietary unsaturated fats. *FASEBJ* 2013; 27:2513-20.
33. Shin AC., Townsend RL., Patterson LM., Berthoud HR. "Liking" and "wanting" of sweet and oily food stimuli as affected by high-fat diet-induced obesity, weight loss, leptin, and genetic predisposition. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2011; 301:R1267-R80.
34. Running CA., Craig BA., Mattes RD. Oleogustus: The Unique Taste of Fat. *Chem Senses* 2015; 40:507-16.



Aliments et nutriments

Particularités et bienfaits des yaourts

Characteristics and benefits of yogurts

*Jean-Michel LECERF**

Service de Nutrition – Institut Pasteur de Lille. 1 Rue du Professeur Calmette 59019 Lille Cedex

Reçu le 1^{er} juin 2016, Révisé le 08 juin 2016, Accepté le 09 juin 2016

*Auteur correspondant : jean-michel.lecerf@pasteur-lille.fr

Résumé Les yaourts sont des laits fermentés avec des bactéries lactiques spécifiques. Ce sont des aliments vivants qui allient les propriétés des probiotiques et des produits laitiers. Les bactéries lactiques possèdent une lactase (bétagalactosidase) active tout au long du tractus digestif, ce qui permet au yaourt d'être parfaitement adapté aux personnes ayant une intolérance au lactose. Ils possèdent des effets probiotiques, et augmentent donc l'immunité intestinale et systémique. Ils entraînent une modification du microbiote. La consommation de yaourt est associée à une diminution de la prévalence du surpoids et de l'obésité, du syndrome métabolique et du diabète de type 2. Des effets favorables ont également été observés sur la pression artérielle et sur les lipides plasmatiques. Ceci explique, sans doute, la réduction du risque cardiovasculaire associée à la consommation de yaourt dans plusieurs études épidémiologiques. On ne connaît pas précisément les nutriments et constituants responsables de ces effets : le rôle du calcium, des acides gras laitiers spécifiques, de certains peptides, de certains oligosaccharides, des bactéries lactiques est suspecté. De plus la consommation de yaourt et de lait fermenté semble favorable sur l'ostéoporose et enfin, elle est probablement associée à une diminution du risque de cancer colo rectal. Plusieurs enquêtes alimentaires ont montré que les consommateurs de yaourts avaient une alimentation de meilleure qualité, une meilleure couverture des apports nutritionnels conseillés et un style alimentaire associé plus favorable. Ceci pourrait rendre compte en partie des bénéfices-santé des yaourts.

Mots clés : *Yaourt, Lait fermenté, Probiotiques, Microbiote, Risque cardio-métabolique, Style alimentaire*

Abstract Yogurts are fermented milks with specific lactic bacillus. These are living foods which combine nutritional properties of dairy products and probiotics properties. Lactic bacillus own a lactase (betagalactosidase) which acts along the gastrointestinal tractus ; that allows to the yogurt to be well adapted for subjects with lactose intolerant. They have probiotic effects and they increase gut immunity and systemic immunity. They induce a microbiote change. The yogurt consumption is linked to a decrease of overweight and obesity prevalence, and of metabolic syndrome and type 2 diabetes. Favorable effects are also observed on blood pressure and on plasma lipids. This explain probably the lesser cardiovascular risk with a higher yogurt consumption observed in some epidemiological studies. The involved mechanisms are not exactly known, nor the nutrients and microconstituents responsible of those effects: the role of calcium, bio-peptides, specific dairy fatty acids, specific oligosaccharides, lactic bacillus are suspected. Moreover the fermented milk and yogurt consumption is usefull against osteoporosis and finally it is probably associated to a lesser colorectal cancer risk. Many dietary surveys have shown that yogurt consumers had a better quality diet, a better satisfaction of recommended dietary allowances and a well-balanced dietary pattern. That could explain partially the health benefits of yogurt consumption.

Key words: *Yogurt, Fermented milk, Probiotics, Microbiota, Cardio-metabolic risk, Dietary pattern*

Introduction

Les yaourts font partie des ultra-frais laitiers, c'est-à-dire des produits laitiers à conserver au froid positif entre 0 et 6°C et à date de limitation courte. Les yaourts sont des laits fermentés qui, selon la définition internationale du *codex Alimentarius* définie en 1975 et révisée en 2003, doivent contenir les espèces vivantes *Streptococcus Thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*. Ces laits fermentés n'ont subi aucun traitement thermique après la fermentation. Le nombre de bactéries vivantes dans les laits fermentés à date limite de consommation doit être égal à 10^7 UFC / gr ou / ml de produit. Le terme yaourt ou yogourt est réservé au lait fermenté ensemencé avec des bactéries lactiques; elles doivent être vivantes à raison d'au moins 10 millions de bactéries / gr pendant toute la durée de vie du produit [1,2].

Les laits fermentés sont sans doute extrêmement anciens dans l'histoire humaine, puisqu'il y a des preuves indirectes de leur consommation dès le néolithique au Moyen-Orient. Les produits disponibles diffèrent selon les pays et selon les espèces animales (juments, yaks, vaches...). La fabrication des laits fermentés et des yaourts consiste en l'adjonction de ferments lactiques à du lait pasteurisé, entraînant une coagulation naturelle. Selon les goûts des consommateurs et les pays, on obtiendra, soit un yaourt ferme, soit un yaourt brassé, additionné ou non de sucre, d'arômes ou de fruits.

Le poids habituel des yaourts en Europe est de 125 g. Il est habituellement de 180 g ou plus aux Etats-Unis. La composition nutritionnelle des yaourts figure sur le tableau I pour 100 g. Ainsi un pot de yaourt de 125 g apporte environ 5 g de protéines et 180 mg de calcium. L'apport en glucides dépend de l'adjonction de ou non de sucre. Les yaourts

Tableau I. Composition du yaourt nature

	Nature pour 100g			Sucré aux fruits
	Ecrémé	½ Ecrémé	Entier	
Energie (Kcal)	44	55	76	-15 à+30
Protéines (g)	4,3	3,5	3,9	
Lipides (g)	0,09	1,27	3,31	
Ag saturés (g)	0,05	0,82	2,12	
Glucides (g)	5,5	6,7	7,2	+5 à +6
Calcium (mg)	136	129	136	

nature, ne contiennent comme le lait, que des oligosaccharides, en particulier du lactose et quelques traces de galacto-oligo-saccharides.

Yaourt et santé

Yaourt et intolérance au lactose

Le sucre du lait est donc le lactose constitué de galactose - glucose. Dans le tube digestif, le lactose est hydrolysé en glucose et galactose par une lactase qui siège au niveau de la bordure en brosse des microvillosités de l'intestin grêle. Il s'agit d'une beta-galactosidase. Son déficit entraîne une diminution de l'hydrolyse du lactose qui parvient ainsi non digéré, dans le côlon où il sera ainsi l'objet d'une fermentation colique, tel un prébiotique, par la flore intestinale, engendrant la production de gaz, notamment d'hydrogène, qui est ensuite expiré (Breath test ou test de l'hydrogène expiré), et source d'inconfort, à type ballonnement, de diarrhée, voire de douleurs abdominales.

Il existe plusieurs degrés d'intolérance au lactose par déficit en lactase. Le déficit complet en lactase est rarissime, le plus souvent il s'agit d'une hypolactasie, qui est un trait génétique. Or, ce trait génétique-lactase déficient concerne plus de la moitié de la population humaine. Il ne s'agit pas d'une pathologie, mais d'une caractéristique génétique. Seule une consommation excessive de lactose engendre des troubles, que l'on qualifiera de malabsorption du lactose par déficit en lactase. Les bactéries lactiques que contient le yaourt restent actives dans le tube digestif tout au long du tractus intestinal, ce qui permet une bonne hydrolyse et donc une bonne digestion du lactose

présent dans les yaourts. C'est pourquoi les yaourts sont parfaitement tolérés chez les personnes intolérantes au lactose par déficit en lactase. Depuis de nombreuses années on sait que le chauffage des yaourts fait disparaître cette propriété après chauffage des yaourts ainsi que cela a pu être mis en évidence par le test à l'hydrogène expiré. Ceci prouve que cet effet est bien lié à la présence de bactéries lactiques vivantes.

Les effets probiotiques des yaourts

Les ferments lactiques *Streptococcus Thermophilus* et *Lactobacillus Bulgaricus* sont des probiotiques [3,4]. De nombreuses études ont montré qu'ils possédaient des propriétés propres aux probiotiques : ils améliorent les troubles fonctionnels intestinaux, réduisent la sévérité des diarrhées infectieuses, exercent un effet favorable sur la diarrhée post-antibiothérapie. Ils améliorent de 5 à 15% l'éradication de *Helicobacter Pylorii*. Ils sont susceptibles également d'améliorer favorablement le microbiote intestinal chez les sujets sains ou chez les enfants sains. On note toutefois que cet effet favorable sur le microbiote intestinal est observé également avec des laits fermentésensemencés avec d'autres souches telles que *Lactobacillus Casei* ou *Bifidobacterium Longum* [5,6].

Les yaourts possèdent également des effets favorables sur l'immunité [7,8]. Une étude récente a montré que, chez la souris *in vivo*, le yaourt produit un polysaccharide immuno-modulateur qui augmente le taux d'interferon (IFN) gamma et l'activité des cellules NK, acteurs de l'immunité cellulaire. Cet effet favorable sur l'immunité a également été observé chez des patientes ayant une anorexie mentale, avec une augmentation des leucocytes CD8⁺, une production accrue d'IFN gamma par les lymphocytes [9]. Des études cliniques ont montré une diminution par 2,6 des épisodes infectieux bénins, tels que rhumes chez des sujets âgés [10] ou chez des sujets sains plus jeunes. Les yaourts peuvent également stimuler l'immunité muqueuse locale (IgA) et potentialiser la réponse vaccinale. Ils diminuent également le risque d'allergie chez les enfants à risque d'allergie.

Effet sur le poids

Des études épidémiologiques ont montré que la consommation de yaourts était associée à une plus faible incidence du surpoids et de l'obésité. C'est notamment le cas de la Sun Study [11] qui a montré que dans cette cohorte méditerranéenne la consommation de yaourt était inversement associée avec l'incidence du surpoids et de l'obésité, particulièrement chez les sujets qui avaient par ailleurs une consommation élevée de fruits. Dans les cohortes américaines de la Nurse's Study et de la Health Professional Follow up Study [12], le changement de poids (gain de poids ou perte de poids) à long terme, a été évalué tous les 4 ans en fonction des changements alimentaires et des changements de style de vie. Il apparaît que la consommation des yaourts est associée à une perte de poids significative, celle de lait a un effet neutre, qu'il s'agisse du lait entier ou du lait écrémé ou demi-écrémé, de même que la consommation de fromages.

Une étude récente auprès de 5124 enfants âgés de 2 à 18 ans de la NHANES aux Etats-Unis [13] a évalué la fréquence de consommation de yaourts sur une année par un questionnaire de fréquence. La consommation de yaourts était associée à une plus faible valeur de l'insulinémie à jeun, à une diminution de l'insulino-résistance, à une augmentation de l'index d'insulino-sensibilité, mais il n'y avait pas de relation avec le poids, la glycémie à jeun et le profil lipidique, la CRP ou la pression artérielle. Toutefois, des analyses plus fines de cette population d'enfants de la cohorte NAHNES, publiée plus récemment encore [14], a montré une relation inverse entre la consommation de yaourts et l'adiposité mesurée par l'épaisseur du pli cutané sus-capulaire.

Dans l'étude Framingham Heart Study Offspring Cohort, les sujets ont été suivis entre 1991 et 2008. Ceux consommant plus de 3 yaourts/semaine ont pris moins de poids et de tour de taille [15].

Les mécanismes par lesquels les produits laitiers et en particulier les produits entiers fermentés sont susceptibles de diminuer le poids sont multiples, mais ne sont pas formellement établis. On connaît le rôle du calcium alimentaire, capable d'augmenter l'oxydation lipidique mais également et surtout d'augmenter la perte fécale en lipides par la formation de savons calciques insolubles à partir

des acides gras et du calcium. L'effet du calcium pourrait aussi être médié par une modification du microbiote et de la perméabilité intestinale [16]. Des études ont également montré que les graisses laitières, notamment le CLA, pouvaient diminuer l'adiposité. On sait également que les protéines, et notamment les protéines laitières, peuvent diminuer la sensation de faim qui survient lors de la restriction. Une étude récente chez la souris KOob/ob (déficience en leptine) a montré que le kéfir améliore la stéatose hépatique, en inhibant la voie de la lipogénèse [17]. Ceci est à rapprocher d'une étude qui a montré que la prise de symbiotiques (prébiotiques + probiotiques) avait des effets favorables dans le NASH syndrome, le syndrome métabolique et le diabète.

Yaourt et diabète de type 2

L'étude Predimed est une étude prospective, avec un suivi de 3,2 ans, chez 1868 hommes et femmes de 55-80 ans. Elle a montré que la consommation de yaourt maigre et la consommation de lait entier étaient associées à une diminution du risque de survenue de syndrome métabolique (respectivement HR 0,73 et HR 0,78) soit une réduction de 27 et de 22% de ce risque. Toutes les composantes du syndrome métabolique étaient diminuées notamment chez les consommateurs de yaourts au lait entier : l'obésité abdominale, l'hypertriglycémie et le cholestérol HDL, la pression artérielle, la glycémie à jeun [18,19]. L'étude EPIC NORFOLK, qui est une étude cas-témoin nichée avec 25 000 sujets suivis 11 ans, a montré que la consommation de yaourts était associée à une diminution de 28 % du risque de diabète de type 2 ; de même que la consommation de produits laitiers fermentés était associée à une diminution de 24 % de ce risque [20].

L'étude Women's Health Initiative Study a montré qu'il y avait une diminution du risque de diabète de type 2, lorsque la consommation de produits laitiers allégés augmentait, même lorsque le poids s'élève, et ceci était particulièrement observé pour une consommation élevée de yaourts [21].

Lait fermenté et pression artérielle

Plusieurs études ont montré que le lait fermenté était source de peptides fonctionnels dont certains

peuvent avoir un effet d'inhibition de l'enzyme de conversion et/ou stimuler la production de l'acide gamma amino-byturique. L'inhibition de l'enzyme de conversion pourrait être à l'origine d'un effet favorable sur la pression artérielle. Cet effet est variable sur les souches et a été observé pour *Lactobacillus helveticus*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus casei chiroto* et *Lactococcus lactis*. Une étude épidémiologique récente a montré un moindre risque de développer une hypertension artérielle, chez les consommateurs de yaourts [22]. Ceci est en accord avec les études épidémiologiques, telle que l'étude Prédimed et qui a mis en évidence une relation inverse entre consommation de yaourts, notamment au lait entier, et pression artérielle [19].

Yaourt et risque cardiovasculaire

Une étude cas-témoin suédoise a montré une relation inverse entre les bio-marqueurs lipidiques plasmatiques que sont le C15 : 0 et le C17 : 0 et le risque de premier infarctus. Cet effet est plus marqué chez les femmes avec une diminution de 26 % du risque de premier infarctus et de 9 % chez les hommes [23]. Ceci reste significatif après ajustement. De même dans cette étude les quartiles hauts de fromages et de laitages fermentés sont inversement corrélés au premier infarctus.

Une étude néerlandaise, auprès de 120 852 hommes et femmes âgés de 55 à 69 ans initialement, suivis pendant 10 ans, a montré, avec un questionnaire de fréquence que la consommation de lait entier fermenté était associée à une diminution importante du risque de décès par accident vasculaire cérébral, de 25 % chez les hommes consommant du lait entier fermenté par rapport à ceux qui n'en consomment pas et de 18 % chez les femmes [24].

Une étude australienne a été réalisée auprès de 1080 femmes âgées de plus de 70 ans, suivies pendant 3 ans, avec mesure de l'épaisseur intima-média de l'artère carotide commune et une enquête alimentaire de fréquence. La consommation de yaourts est inversement corrélée à l'épaisseur intima-media carotidienne après ajustement ; les patients qui consomment plus de 100 g de yaourt par jour ont une épaisseur intima-média carotidienne significativement plus basse après ajustement ($p=0,003$) [25].

Lait fermenté et lipides plasmatiques

Une étude-intervention a long terme chez 29 femmes avait montré qu'une supplémentation en lait fermenté au *Lactobacillus acidophilus* et *Bifidobacterium longum* à raison de 300 g par jour augmentait significativement la concentration de cholestérol HDL et améliorait le rapport cholestérol LDL / cholestérol HDL [26]. Les effets sur le cholestérol-LDL sont variables selon les souches, et méritent d'être confirmés. Les mécanismes invoqués pour les effets des laits fermentés sur le métabolisme lipidique ne sont pas formellement établis. Cela pourra passer par en effet sur la synthèse des acides biliaires et la production d'acides gras à chaîne courte ... [27].

Yaourt et ostéoporose

La quasi-totalité des études d'intervention montre que la consommation de produits laitiers augmente la densité minérale osseuse [28]. Les études épidémiologiques montrent que les sujets ne consommant pas de produits laitiers ont un risque accru de fractures. Les études cliniques d'intervention sont également en faveur d'un bénéfice de la consommation de produits laitiers sur le risque d'ostéoporose et de fractures, lorsqu'elles sont faites dans de bonnes conditions. Certaines données sont en faveur d'un effet spécifique des laits fermentés sur l'os. Une étude récente a montré que la consommation de kéfir augmentait la masse osseuse et améliorait la microarchitecture osseuse dans des modèles de rats ovariectomisés [29].

Yaourt et cerveau

Une étude expérimentale chez des femmes en bonne santé a montré que la prise d'un produit laitier fermenté pendant 4 semaines modifiait l'activité cérébrale responsable des émotions [30]. Dans l'encéphalopathie hépatique minime la prise de yaourt supprime les signes d'encéphalopathie hépatique minime et améliore les tests cognitifs [31].

Yaourt et microbiote

Le yaourt est un aliment source de probiotiques. La

question est de savoir si les probiotiques peuvent durablement modifier le microbiote intestinal humain. Un travail international récent confirme les changements du microbiote avec un lait fermenté [32]. La modification de la composition du microbiote humain et de l'activité métabolique de ce microbiote a été démontrée chez l'enfant avec la consommation de lait fermenté au *Lactobacillus caséi*. De même chez l'adulte la consommation de yaourt au *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* entraîne une augmentation de la diversité du microbiote, des bactéries produisant de l'acide lactique et des *Clostridium perfringens* au détriment des *Bacteroides* [33]. On manque cependant d'études sur la persistance des modifications de composition et d'activité du microbiote lors de la consommation de yaourts ou de lait fermenté.

Yaourt et cancer colorectal

L'étude italienne EPIC chez 45 241 sujets a montré que les sujets du plus haut tertile de consommation de yaourts (85 g par jour chez les hommes, 98 g par jour chez les femmes) comparativement aux sujets du plus bas tertile (0 g par jour), avaient une réduction très significative du risque de cancer colorectal, de 38 % sur le modèle ajusté sur l'énergie et de 35 % sur le modèle ajusté sur tous les facteurs de confusion [34]. Ceci confirme les données déjà connues du bénéfice des produits laitiers sur le risque du cancer du côlon et du rectum. Il n'est pas établi qu'il y a un effet spécifique des yaourts sur ce risque, toutefois compte-tenu des effets des probiotiques sur le microbiote et du rôle du microbiote dans la cancérogénèse colique cela n'est pas exclu.

Yaourt et qualité de l'alimentation

On sait que les yaourts sont une source importante de nombreux nutriments, protéines, calcium, potassium, phosphore, magnésium, zinc, vitamine B₂, niacine, vitamine B₆, vitamine B₁₂ ... Plusieurs études épidémiologiques ont montré que la consommation de yaourt était associée à un meilleur profil nutritionnel [35]. L'étude NHANES chez 5124 enfants de 2 à 18 ans a montré que les enfants ayant une consommation régulière de

yaourt avaient une alimentation de meilleure qualité avec le score HEI que ceux ayant une consommation occasionnelle [13]. L'étude INFOGENE [36] a montré que les consommateurs de yaourts avaient un meilleur score d'équilibre alimentaire et que les yaourts étaient un excellent contributeur du style alimentaire prudent. L'étude Framingham Heart's Study of Spring Cohort et Génération Three Cohort auprès de 6526 sujets de 19 à 89 ans [37] a montré que les consommateurs de yaourt avaient un index d'adhésion aux recommandations qui était beaucoup plus élevé que les non consommateurs, d'autant plus élevé d'ailleurs que cet apport était élevé par rapport à un apport faible en yaourt. Les apports étaient beaucoup moins souvent inadéquats pour la vitamine A, vitamine B₂, B₁₂, calcium, magnésium et zinc. Une étude italienne récente a montré chez 3323 sujets que les consommateurs de yaourts avaient un score d'adéquation aux apports nutritionnels, le PAN Diet, qui était beaucoup plus élevé que les non consommateurs [38].

Nous-mêmes avons montré récemment, chez 986 adultes de 25 à 64 ans issus de l'étude CCAF, que les gros consommateurs de produits laitiers frais avaient un profil alimentaire et des apports nutritionnels globalement plus satisfaisants (plus de fruits, de poisson, de légumes secs, de fruits secs, plus d'eau, de fibres, moins de plats composés, moins d'alcool) que les petits consommateurs [39]. Il existait, en outre, un gradient favorable pour les non consommateurs jusqu'aux gros consommateurs, pour la majorité de ces aliments. Les scores de qualité d'alimentation et d'adéquation aux critères du PNNS étaient croissants avec la consommation de produits laitiers frais. Les gros consommateurs de produits laitiers frais satisfaisaient plus souvent la couverture des 2/3 des apports nutritionnels conseillés pour 11 micronutriments (vitamines B₁, B₂, B₅, B₆, B₉, calcium, iode, sélénium et cuivre).

Conclusion

Au total, les laits fermentés, et en particulier les yaourts, ont des propriétés qui leur confèrent des bénéfices pour un certain nombre de facteurs de risque cardiovasculaire, et qui rendent compte d'effets positifs sur la santé métabolique, cardio

vasculaire, osseuse, intestinale et sur le risque de cancer colorectal. Outre les effets propres aux produits laitiers, et notamment les effets liés aux apports en calcium, aux protéines laitières et aux graisses laitières, il n'est pas exclu que les probiotiques des laits fermentés aient des effets spécifiques passant par une modification du microbiote. Cependant la consommation de yaourt pourrait, non seulement, contribuer à l'équilibre alimentaire, mais aussi être le marqueur d'un style alimentaire plus bénéfique. Ainsi, les effets positifs observés pourraient s'inscrire dans une alimentation globalement plus satisfaisante, chez les consommateurs de yaourt et de lait fermenté, comparativement aux non consommateurs de lait fermenté ou de yaourt. Des études complémentaires sont nécessaires pour établir les rôles respectifs des facteurs comportementaux ou nutritionnels dans ces bénéfices.

Conflit d'intérêts

L'auteur déclare ne pas avoir de conflits d'intérêt

Références

1. Bourlioux P., Braesco V., Mater D. Yaourts et autres laits fermentés. *Cah Nutr Diet* 2011. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007996011000952> (accessed 30 May 2016).
2. GUERIN-DANAN C., ANDRIEUX C. Apports nutritionnels et effets probiotiques des laits fermentés chez le jeune enfant. *Cah Nutr Diét* 1998;33: 384–9.
3. Adolfsson O., Meydani SN., Russell RM. Yogurt and gut function. *Am J Clin Nutr* 2004; 80: 245–56.
4. Morelli L. Yogurt, living cultures, and gut health. *Am J Clin Nutr* 2014;99: 1248S–50S.
5. Bartram HP., Scheppach W., Gerlach S., Ruckdeschel G., Kelber E., Kasper H. Does yogurt enriched with *Bifidobacterium longum* affect colonic microbiology and fecal metabolites in health subjects? *Am J Clin Nutr* 1994;59: 428–32.
6. Guerin-Danan C., Chabanet C., Pedone C., Popot F, Vaissade ., Bouley C. *et al.* Milk fermented with yogurt cultures and *Lactobacillus casei* compared with yogurt and gelled milk: influence on intestinal microflora in healthy infants. *Am J Clin Nutr* 1998; 67: 111–7.
7. Wheeler JG., Bogle ML., Shema SJ., Shirrell MA., Stine KC., Pittler AJ. *et al.* Impact of dietary yogurt on immune function. *Am J Med Sci* 1997;313: 120–3.
8. Meydani SN., Ha WK. Immunologic effects of yogurt. *Am J Clin Nutr* 2000; 71: 861–72.
9. Nova E., Toro O., Varela P., López-Vidriero I., Morandé G., Marcos A. Effects of a nutritional intervention with yogurt on lymphocyte subsets and cytokine production capacity in anorexia nervosa patients. *Eur J Nutr* 2006; 45: 225–33.
10. Aldinucci C., Bellussi L., Monciatti G., Passali GC., Salerni L., Passali D. *et al.* Effects of dietary yoghurt on immunological and clinical parameters of rhinopathic patients. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56: 1155–61.
11. Martinez-Gonzalez MA., Sayon-Orea C., Ruiz-Canela M., de la Fuente C., Gea A., Bes-Rastrollo M. Yogurt consumption, weight change and risk of overweight/obesity: the SUN cohort study. *Nutr Metab Cardiovasc Dis : NMCD* 2014; 24: 1189–96.
12. Mozaffarian D., Hao T., Rimm EB., Willett WC., Hu FB. Changes in diet and lifestyle and long-term weight gain in women and men. *New Engl J Med* 2011;364: 2392–404.
13. Zhu Y., Wang H., Hollis JH., Jacques PF. The associations between yogurt consumption, diet quality, and metabolic profiles in children in the USA. *Eur J Nutr* 2015; 54: 543–50.
14. Keast DR., Hill Gallant KM., Albertson AM., Gugger CK., Holschuh NM. Associations between yogurt, dairy, calcium, and vitamin D intake and obesity among U.S. children aged 8-18 years: NHANES, 2005-2008. *Nutrients* 2015; 7: 1577–93.
15. Wang H., Fox CS., Troy LM., Mckeown NM., Jacques PF. Longitudinal association of dairy consumption with the changes in blood pressure and the risk of incident hypertension: the Framingham Heart Study. *Br J Nutr* 2015;114: 1887–99.
16. Gomes JMG., Costa JA., Alfenas RC. Could the beneficial effects of dietary calcium on

- obesity and diabetes control be mediated by changes in intestinal microbiota and integrity? *Br J Nutr* 2015; 114: 1756–65.
17. Chen HL., Tung YT., Tsai CL., Lai CW., Lai ZL., Tsai HC. *et al.* Kefir improves fatty liver syndrome by inhibiting the lipogenesis pathway in leptin-deficient ob/ob knockout mice. *Int J Obesity* 2014; 38(9): 1172–9.
 18. Santiago S., Sayón-Orea C., Babio N., Ruiz-Canela M., Martí A., Corella D. *et al.* Yogurt consumption and abdominal obesity reversion in the PREDIMED study. *Nutr Metab Cardiovasc Dis : NMCD* 2016; 26: 468–75.
 19. Díaz-López A., Bulló M., Martínez-González MA., Corella D., Estruch R., Fitó M. *et al.* Dairy product consumption and risk of type 2 diabetes in an elderly Spanish Mediterranean population at high cardiovascular risk. *Eur J Nutr* 2016; 55: 349–60.
 20. O'Connor LM., Lentjes MAH., Luben RN., Khaw KT., Wareham NJ., Forouhi NG. Dietary dairy product intake and incident type 2 diabetes: a prospective study using dietary data from a 7-day food diary. *Diabetologia* 2014; 57: 909–17.
 21. Margolis KL., Wei F., de Boer IH., Howard BV., Liu S., Manson JE. *et al.* A diet high in low-fat dairy products lowers diabetes risk in postmenopausal women. *J Nutr* 2011; 141: 1969–74.
 22. Buendia JR., Au FB., Singer MR., Labral HJ., Moore LL. Long-term Yogurt Intake is Associated with a Lower Risk of High Blood Pressure in Middle-aged Nurses and Health Professionals. *Circulation* 2016; 133: AP169.
 23. Warensjö E., Jansson JH., Cederholm T., Boman K., Eliasson M., Hallmans G. *et al.* Biomarkers of milk fat and the risk of myocardial infarction in men and women: a prospective, matched case-control study. *Am J Clin Nutr* 2010; 92: 194–202.
 24. Goldbohm RA., Chorus AMJ., Galindo Garre F., Schouten LJ., van den Brandt PA. Dairy consumption and 10-y total and cardiovascular mortality: a prospective cohort study in the Netherlands. *Am J Clin Nutr* 2011; 93: 615–27.
 25. Ivey KL., Lewis JR., Hodgson JM., Zhu K., Dhaliwal SS., Thompson PL. *et al.* Association between yogurt, milk, and cheese consumption and common carotid artery intima-media thickness and cardiovascular disease risk factors in elderly women. *Am J Clin Nutr* 2011; 94: 234–9.
 26. Kiessling G., Schneider J., Jahreis G. Long-term consumption of fermented dairy products over 6 months increases HDL cholesterol. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56: 843–9.
 27. St-Onge MP., Farnworth ER., Jones PJ. Consumption of fermented and nonfermented dairy products: effects on cholesterol concentrations and metabolism. *Am J Clin Nutr* 2000; 71: 674–81.
 28. Bonjour JP., Kraenzlin M., Levasseur R., Warren M., Whiting S. Dairy in adulthood: from foods to nutrient interactions on bone and skeletal muscle health. *J Am Coll Nutr* 2013; 32(4): 251–63.
 29. Chen HL., Tung YT., Chuang CH., Tu MY., Tsai TC., Chang SY. *et al.* Kefir improves bone mass and microarchitecture in an ovariectomized rat model of postmenopausal osteoporosis. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 2015; 26: 589–99.
 30. Tillisch K., Labus J., Kilpatrick L., Jiang Z., Stains J., Ebrat B. *et al.* Consumption of fermented milk product with probiotic modulates brain activity. *Gastroenterology* 2013; 144(7): 1394–401, 1401.e1–4.
 31. Bajaj JS., Saeian K., Christensen KM., Hafeezullah M., Varma RR., Franco J. *et al.* Probiotic yogurt for the treatment of minimal hepatic encephalopathy. *Am J Gastroenterol* 2008; 103(7): 1707–15.
 32. Veiga P., Pons N., Agrawal A., Oozeer R., Guyonnet D., Brazeilles R. *et al.* Changes of the human gut microbiome induced by a fermented milk product. *Sci Rep* 2014; 4: 6328.
 33. García-Albiach R., Pozuelo de Felipe MJ., José M., de Felipe P., Angulo S., Morosini MI. *et al.* Molecular analysis of yogurt containing *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* in human intestinal microbiota. *Am J Clin Nutr* 2008; 87: 91–6.
 34. Pala V., Sieri S., Berrino F., Vineis P., Sacer-

- dote C., Palli D. *et al.* Yogurt consumption and risk of colorectal cancer in the Italian European prospective investigation into cancer and nutrition cohort. *Int J Cancer* 2011; 129(1): 2712–9.
35. Webb D., Donovan SM., Meydani SN. The role of yogurt in improving the quality of the American diet and meeting dietary guidelines. *Nutr Rev* 2014; 72: 180–9.
36. Cormier H., Thifault É., Garneau V., Tremblay A., Drapeau V., Pérusse L. *et al.* Association between yogurt consumption, dietary patterns, and cardio-metabolic risk factors. *Eur J Nutr* 2015; 55: 577–87.
37. Wang H., Livingston KA., Fox CS., Meigs JB., Jacques PF. Yogurt consumption is associated with better diet quality and metabolic profile in American men and women. *Nutr Res (New York, NY)* 2013; 33: 18–26.
38. Mistura L., D'Addezio L., Sette S., Piccinelli R., Turrini A. Diet quality of Italian yogurt consumers: an application of the probability of adequate nutrient intake score (PANDiet). *Int J Food Sci Nutr* 2016; 67: 232–8.
39. Lecerf JM., Colin J., Hebel P., Bongard V., Ferrières J. Les consommateurs de produits laitiers frais : des consommateurs comme les autres ? Analyse de leurs profils alimentaires et nutritionnels. *Nutr Clin Métab* 2016; 30: 11–21.



Composés bioactifs

Les algues, une ressource aux applications multiples : Nutrition, Santé, Cosmétologie, Bioénergie, Environnement

The algae, a resource with multiple applications: Nutrition, Health, Cosmetics, Bioenergy, Environment

*Gérard TREMBLIN**

EA 2160-MMS, Mer Molécules Santé, IUML-FR 3473 CNRS, Université du Maine, 72085 Le Mans, France

Reçu le 27 avril 2016, Révisé le 31 mai 2016, Accepté le 1^{er} juin 2016

*Auteur correspondant : tremblin@univ-lemans.fr

Résumé Les algues marines sont une source potentielle de composés ayant des applications dans des domaines aussi différents que l'agroalimentaire, la santé, la cosmétique, l'aquaculture, la nutraceutique, l'environnement et les énergies renouvelables. Les lipides et les pigments, représentent les deux principaux groupes de molécules d'intérêt aussi bien chez les grandes algues ou macroalgues que chez les microalgues qui composent le phytoplancton. Les macroalgues font depuis longtemps l'objet d'une exploitation industrielle comme source de gélifiant (agar, carraghénane, alginate) ou pour des utilisations alimentaires (nori, wakamé, kombu). Certaines espèces font l'objet de récolte et d'autres sont cultivées. Les microalgues, quant à elles, sont au cœur, depuis quelques années, de nombreux projets industriels comme la production de pigments, d'acides gras oméga-3 ou plus largement de lipides en vue d'un futur usage comme source de biocarburant. Elles font l'objet de culture en photobioéacteurs ou en bassins ouverts dans de nombreuses régions du globe. Parmi les microalgues, une diatomée riche en oméga-3, cultivée industriellement dans la région des Pays de la Loire et commercialisée comme complément alimentaire a servi de modèle dans nos travaux en vue d'optimiser sa valorisation. Les résultats obtenus au niveau des conditions optimales de son développement en culture et les avantages de son utilisation comme complément alimentaire dans la prévention des facteurs de risque cardiovasculaire chez des rats soumis à un régime hyperlipidique sont présentés. A la lumière de leurs multiples applications, l'importance respective des deux filières (macro et micro algues) sont

comparées et l'opportunité de leur développement est discutée.

Mots-clés : *Macroalgues, Microalgues, Pigments, Lipides, Oméga-3, Complément alimentaire*

Abstract Marine algae present a potential source of compounds with numerous applications in fields as different as, food processing, health, cosmetics, aquaculture, nutraceuticals, environment and renewable energy. Lipids and pigments are the main products of interest in large seaweeds or macroalgae and in microalgae composing the phytoplankton. Macroalgae have long been the subject of industrial use as gelling source (agar, carrageenan, alginate) or food uses (nori, wakame, kombu). Some species are harvested and others are grown. Microalgae, for their part are the focus, for recent years, of many industrial projects such as, pigment production, omega-3 fatty acids production or more generally lipids for a future use as a biofuel resource. They are cultured in photo-bioreactors or open tanks in many regions of the world. Among the microalgae, a diatom rich in omega-3, cultivated industrially in the region of "Pays de la Loire" and commercialized as a human food supplement, has been studied in order to optimize its valorisation. Results, obtained for optimal conditions of development in culture and the advantages of using it as a food supplement for preventing cardiovascular risk factors in rats subjected to a high fat diet, are presented.

Keywords: *Macroalgae, Microalgae, Pigments, Lipids, Omega-3, Food supplement*

Introduction

Sous le terme général « algue », on désigne un vaste assemblage d'organismes souvent phylogénétiquement éloignés dont la morphologie peut sembler relativement homogène au moins chez celles de grande taille, les macroalgues. Avec celles de très petite taille, les microalgues, les points communs se résument à des organismes généralement inféodés aux zones humides (eaux marines, eaux saumâtres ou eaux douces), mais pas uniquement car il en existe des aériennes, pratiquant la photosynthèse et possédant pour cela de la chlorophylle *a*. La classification des algues est très complexe car les critères classiques de classification utilisés chez les plantes terrestres (essentiellement basés sur l'organisation de l'appareil végétatif et de l'appareil reproducteur) ne peuvent être utilisés ici. Chez ces végétaux, l'appareil végétatif se réduit à un thalle (pas de tiges, de racines, de feuilles, ni de fleurs) et l'appareil reproducteur lorsqu'il est présent est souvent si discret que l'on

ne peut l'observer qu'au microscope. La présence des pigments est l'un des critères les plus couramment utilisés pour les classer, on distingue ainsi les algues vertes ou Chlorophycées riches en chlorophylles *a et b*, les algues brunes ou Phéophycées, contenant entre autres les Chl *a et c* auxquelles s'ajoute de la fucoxanthine (pigment brun), les algues rouges ou Rhodophycées contenant de la Chl *a* et des pigments rouges et bleus appartenant aux phycobiliprotéines. Par ailleurs, sur un critère de taille, on distingue les macroalgues formant des thalles pluricellulaires et les microalgues, le plus souvent unicellulaires mais s'associant parfois pour former des colonies.

Les macroalgues

Elles sont faciles à observer sur les côtes rocheuses, mais la plus grande partie est immergée n'apparaissant que lors des marées basses, les plus grandes espèces (comme les laminaires) étant

continuellement immergées. Elles sont en général fixées aux rochers par un crampon mais certaines flottent librement comme les sargasses ou les laitues de mer. Elles forment une ceinture le long du littoral des mers du globe sur une distance moyenne de 300 m de large pour une profondeur maximale de 100 m environ car elles ont besoin de lumière pour se développer. Lorsqu'elles sont suffisamment abondantes, rendant possible leur exploitation, on parle de gisements qui se situent en général dans les zones froides où l'eau est fortement brassée avec une grande amplitude de marée.

Utilisation paramédicale et agronomique

Dans le domaine paramédical, l'utilisation des macroalgues est en expansion. Elles sont surtout utilisées en médecine douce (tisanes, décoction) et en thalassothérapie (enveloppement d'algue, sels de bains, crèmes amincissantes, etc.). L'industrie pharmaceutique exploite de façon significative l'alginate de sodium (composant du Gaviscon utilisé dans le traitement du reflux gastro-œsophagien) intervient dans la fabrication des emplâtres et des pansements ou chez le dentiste dans le moulage des dents. Le mannitol comme édulcorant non digestible ne perturbant pas la glycémie ou comme stabilisant dans les dentifrices, les shampoings et les différentes crèmes de beauté.

Dans le domaine agricole, à proximité des côtes, les algues sont utilisées depuis l'antiquité de façon empirique pour amender les sols. À l'époque, les algues étaient répandues à même le sol, depuis des engrais biologiques à base d'algues brunes broyées ou concentrées sous forme d'extraits liquides sont commercialisés. Très récemment, des extraits de laminaires comme l'Iodus 40 [1] sont utilisés en prévention des maladies cryptogamiques comme éliciteur des défenses naturelles des plantes cultivées. Les farines d'algues sont aussi utilisées dans l'alimentation animale sans dépasser 10%.

Utilisation directe des macroalgues comme aliments

D'un point de vue nutritionnel, les macroalgues présentent un certain nombre d'intérêts. Elles sont

faiblement caloriques car les glucides qui les composent sont pour la plupart non assimilables et sous forme de fibres mucilagineuses qui facilitent le transit intestinal. Elles présentent une forte teneur en iode car elles concentrent dans leurs tissus l'iode contenu dans l'eau de mer; l'apport journalier de 150 mg d'iode conseillé par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour un adulte pourrait être couvert par quelques grammes d'algues. Elles sont pour la plupart riches en protéines et pauvres en lipides, mais avec un taux en acides gras essentiels souvent supérieur à celui des autres végétaux.

En occident, la consommation des macroalgues-légumes par l'homme n'est pas une pratique courante alors qu'elle est traditionnelle depuis des millénaires dans les pays asiatiques (Japon, Chine, Corée, Pays de l'Asie du Sud-Est, Indonésie etc.). Historiquement, il semble que les Vikings et les marins en général emportaient des algues dans leurs expéditions afin d'éviter le scorbut lors des longues traversées. De même, les Celtes consommaient essentiellement une algue rouge, *Palmaria palmata*, plus connue sous le nom de dulse. Par ailleurs de tout temps, en période de disette, les algues servaient de complément aux populations côtières soit directement pour se nourrir ou indirectement pour nourrir les animaux d'élevage. Ce n'est qu'à la fin du siècle dernier (début des années 1980) que la commercialisation des macroalgues-légumes a été partiellement autorisée en France. Seulement une vingtaine d'espèces sont actuellement autorisées à la consommation (Tableau I), alors qu'il y en a plus de 50 au Japon. Elles présentent un intérêt nutritionnel de par leur richesse en vitamines et en minéraux.

Dans les pays asiatiques trois aliments provenant des algues, désignés par les termes Kombu, Wakamé et Nori dominant le marché :

- Le kombu est produit à partir d'algues brunes appartenant au genre *Laminaria*, essentiellement *Laminaria japonica*. Après récolte les algues sont ébouillantées, séchées, puis traitées de deux façons : le kombu vert lorsque l'algue est colorée en vert à l'aide de vert de malachite, coupée en morceaux et consommée comme légume "vert", le kombu blanc lorsque l'algue est confite dans le vinaigre puis séchée et grattée. Une fois éliminée la partie externe de couleur noire (kombu noir), la

partie interne blanche ou kombu blanc est débitée en cube et consommée comme légume. Réduit en poudre le kombu est aussi utilisé comme condiment ou en infusion; on trouve aussi du saké, des pâtes, des bonbons au kombu, etc.

La production au Japon de kombu, toutes formes confondues, est estimée à plus de 4 millions de tonnes par an.

- Le wakamé est un aliment préparé principalement à partir d'une seule espèce d'algue *brune Undaria pinatifida*; espèce abondamment cultivée au Japon mais aussi dans d'autres régions du globe et en particulier en France sur la côte bretonne. L'algue récoltée, nettoyée puis salée et séchée, est consommée directement dans les soupes (c'est l'un des composants de la soupe

Tableau I. Listes des espèces de macroalgues autorisées dans l'alimentation humaine, intérêt et mode de consommation

Espèce	Nom commun	Classe, Couleur	Intérêt	Mode de consommation
<i>Chondrus crispus</i>	Pioca, Lichen de mer, Mousse d'Irlande, Carraghen,	Rhodophycées (rouge)	Gélifiant (carraghénane)	Extrait aux propriétés gélifiantes
<i>Palmaria palmata</i>	Dulse	Rhodophycées (rouge bordeaux)	Riche en magnésium	En salade crue ou cuite
<i>Porphyra Umbilicalis</i> <i>P. tenera</i> <i>P. yezoensis</i> <i>P. dioica</i> <i>P. purpurea</i> <i>P. laciniata</i> <i>P. leucostica</i>	Porphyre, Laitue pourpre, Nori	Rhodophycées (rouge violacé)	Riche en protéines et en vitamines	Sous forme de maki principalement
<i>Himanthalia elongata</i>	Haricot ou spaghetti de mer	Phéophycées (brun vert)	Riche en fibres et en minéraux	Cuite comme un légume
<i>Undaria pinnatifida</i>	Wakamé	Phéophycées (vert brun)	Détoxifiant grâce aux alginates	Crue en salade ou cuite dans les soupes
<i>Laminaria saccharina</i> , <i>L. digitata</i> , <i>L. japonica</i>	Laminaire sucrée, Kombu, Kombu royal	Phéophycées (brun)	Très riche en iode	Elément de base du dashi (soupe japonaise) Extrait aux propriétés gélifiantes
<i>Ulva lactuca</i>	Laitue de mer	Chlorophycées (vert vif)	Riche en vitamines C	En salade
<i>Gracilaria verrucosa</i>	Ogonori	Rhodophycées (rouge orangé)	Source de l'agar	Extrait aux propriétés gélifiantes
<i>Fucus vesiculosus</i> <i>F. serratus</i>	Varech vésiculeux	Phéophycées (brun)	Riche en fibres et en alginate	Légume mais surtout farine pour le bétail
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	Ao-nori, Cheveux de mer, Nori vert	Chlorophycées (vert vif)	Riche en fer	Achée pour parfumer les salades ou les omelettes
<i>Lithothamnium calcareum</i>	Mäerl	Rhodophycées (blanche)	Complément alimentaire riche en carbonates et en minéraux	En gélules
<i>Ascophyllum nodosum</i>	Goémon noir	Phéophycées (brun foncé)	Riche en minéraux, iode et en alginate	Légume, mais surtout farine pour le bétail

Miso des japonais) ou en salade.

La production mondiale essentiellement japonaise et coréenne dépasse largement les 500 000 tonnes mais en France, elle reste confidentielle, mais se développe de plus en plus. Cette algue est très riche en calcium avec une teneur plus de dix fois supérieure au lait.

- Le nori est préparé à partir d'algues rouges à thalle plat appartenant au genre *Porphyra*. Après récolte, les algues sont séchées et forment alors une feuille de couleur brune de 2 à 3 g : les feuilles de nori sont diversement utilisées : soit consommées directement après chauffage, soit réduites en poudre et utilisées comme condiment ou encore elles servent d'emballage à d'autres aliments comme les makis de la cuisine japonaise. On fait aussi du vin de nori, des confitures de nori, etc.

La production annuelle est conséquente : plus de 10 milliards de feuilles de nori par an rien qu'au Japon. La production mondiale dépasse le million de tonnes.

D'autres espèces font l'objet d'une consommation par l'homme mais en quantité beaucoup moins importante. Citons les ulves, les enthéromorphes, les gracilaires, les caulerpes, etc., le plus souvent consommées en salade ou en soupe.

Si, dans de nombreux pays, l'utilisation des algues comme aliment est très réduite, elles présentent pourtant un intérêt certain dans la mesure où elles sont riches en sels minéraux, en iode et en vitamines, et pour certaines espèces en protéines. De plus les polysaccharides qu'elles contiennent ne sont pas digérés ni assimilés, ce qui en fait des aliments très diététiques.

Actuellement la consommation mondiale d'algues alimentaires approche les 10 millions de tonnes essentiellement issues de l'algoculture, seulement environ 1 million de tonnes d'algues sauvages sont récoltées. En France, la production d'algues (récolte et culture) ne dépasse pas quelques centaines de tonnes par an.

Utilisation indirecte des algues (extraits)

L'utilisation industrielle ancestrale des algues en Bretagne consistait à en extraire l'iode. Le travail des goémoniers consistait à récolter les laminaires puis à les brûler directement sur la côte, obtenant alors des blocs de cendres compacts appelé « pain

de soude » dont on extrayait ensuite l'iode, mais aussi des sous-produits car dans 100 g de cendre de laminaires, il y a en moyenne 30 g de soude, 30 g de potassium et seulement 0,5 g d'iode. Cette activité traditionnelle a maintenant disparu, mais les algues sont toujours récoltées pour en extraire des gélifiants (alginates des algues brunes, agar et carraghénanes des algues rouges). Abondamment utilisés dans l'industrie agro-alimentaire ces phycocolloïdes sont codés de E401 à E407. Les caractéristiques (origine, nature chimique, extraction, gélification, utilisations, production) des 3 principaux phycocolloïdes ont été rapportées dans la littérature [2].

Aquaculture végétale ou phycoculture

La récolte en milieu naturel des macroalgues à des fins alimentaires en Asie ou industrielle en Europe (Bretagne, Norvège) ou en Amérique est une activité traditionnelle très ancienne. Manuelle pour le *Chondrus crispus*, automatisée lorsque les algues sont de grandes tailles et forment des champs importants comme les laminaires (essentiellement *Laminaria digitata*) en Nord Bretagne (activité des goémoniers utilisant un dispositif particulier : le scoubidou) ou des bateaux faucardeurs sur les côtes des USA permettant la récolte intensive des *Macrocystis*. Mais depuis quelques dizaines d'années, les quantités récoltées étant insuffisantes par rapport aux besoins de l'industrie des phycocolloïdes ou à la demande alimentaire des pays asiatiques, des techniques de culture ont été mises au point. Les plus importantes sont :

- **La culture des *Porphyra***. Cette espèce est essentielle dans l'alimentation japonaise pour fabriquer le nori. Jusque dans les années 1950, les Japonais favorisaient l'installation naturelle de cette espèce en plantant des tiges de bambous ("hibis") dans les zones côtières où elle se développait. La découverte du cycle complet de reproduction de cette espèce et en particulier du stade *Conchocelis* a permis de développer des techniques de production de «semences» (conchospores) au laboratoire; sous forme de jeunes pousses fixées sur des filets flottants qui sont ensuite installés sur la côte ou immergés en pleine mer. Ces techniques, maintenant bien maîtrisées, permettent des cultures intensives et la possibilité de congeler les filets après leur ensemencement donc portant des

germinations de quelques centimètres, rendent la « semence » disponible à tout moment ce qui a encore permis d'améliorer et de faciliter la production des algues. Les thalles de 10 à 20 cm de diamètre sont récoltés après 30 à 50 jours de culture. La production annuelle de *Porphyra* est estimée à plus de 1,5 millions de tonnes.

- **La culture des *Laminaria***. La culture des grandes algues brunes est une activité initiée depuis longtemps par les Japonais qui s'est ensuite propagée dans d'autres régions du globe. Les techniques ancestrales consistaient en milieu naturel à favoriser la fixation des spores dans les zones côtières sableuses en y immergeant des rochers ou en fractionnant les rochers existant à l'aide d'explosifs. Ces méthodes très empiriques ont été ensuite remplacées par des techniques d'ensemencement contrôlé à l'image de ce qui avait été réalisé pour les algues rouges. Une technique dite de « free living » [3] permet ainsi d'obtenir là encore des « semences » (jeunes pousses) en laboratoire tout au long de l'année rendant possible ensuite des cultures en mer au large sur des filins fixés à des bouées flottantes. La grande algue récoltée ou cultivée est le sporophyte. La production annuelle d'algues brunes en perpétuelle augmentation est estimée à plus de 7 millions de tonnes avec environ 5 millions de tonnes pour *Laminaria japonica* et 2 millions de tonnes pour *Undaria pinnatifida*. La récolte en milieu naturel, maintenant réglementée pour préserver la ressource, stagne autour de 1 million de tonnes.

- **La culture des *Eucheuma***. Face à la demande des industriels, la récolte de carraghénophytes est rapidement devenue insuffisante. Aussi, aux Philippines (initiée par un biologiste américain, Doty dans les années 60) puis dans d'autres pays (l'Indonésie, la Malaisie, les îles Salomon et les îles Fidji, le Vietnam et la Chine) s'est développée une culture intensive d'algues rouge source de carraghénanes. Une dizaine d'espèces appartenant aux deux genres *Eucheuma* et *Kappaphycus* sont principalement cultivées. Chez les algues rouges, la mise en culture est simplifiée par bouturage des thalles le long de filières flottantes ou fixées au substrat, immergées en permanence à faible profondeur afin de recevoir un niveau d'éclairage suffisant. Ces algues ne supportent pas l'émersion et nécessitent de travailler en immer-

sion permanente. La croissance rapide permet jusqu'à 4 récoltes par an et la production voisine le million de tonnes par an dont une grande partie est exportée principalement en Europe pour produire des gélifiants.

- **La culture du *Chondrus crispus***. Dans les années 1980 des projets ont vu le jour afin de produire des carraghénophytes en Europe et en Amérique. L'espèce retenue a été le *Chondrus crispus* traditionnellement récolté sur certaines côtes françaises et canadiennes pour cet usage mais dont la récolte était très insuffisante par rapport aux besoins des industriels. Ainsi en France, des fermes de culture intensive de cette espèce ont été installées dans un premier temps dans le Cotentin (Normandie) en utilisant la technique du « race-way » en extérieur à proximité de la tourbière de Beupte (Blainville) qui fournissait l'énergie. Les conditions climatiques étant peu favorables, les installations ont ensuite été transférées dans la baie de Bourgneuf (Pays de la Loire), région beaucoup plus ensoleillée. La société Innoalg cultive ainsi depuis 1998, par bouturage et de façon automatisée des souches de *Chondrus* bien caractérisées. Des installations similaires mais de plus grande ampleur existent au Canada.

- **Autres cultures de macroalgues**. Afin de produire de l'agar, la culture intensive du genre *Gracilaria* se développe depuis une dizaine d'années pour atteindre une production dépassant les 1,2 millions de tonnes. Plusieurs pays : la Chine, la Thaïlande, le Chili et Taiwan ont mis en place différents systèmes de culture en général couplé avec des élevages de poissons herbivores qui nettoient les bassins en broutant les algues vertes. En général, ils utilisent des marais communicants avec la mer, dans lesquels les boutures de *Gracilaria* sont fixées sur des cordages fixés ou flottants. D'autres espèces (genres *Ulva*, *Monostroma*, etc.) sont cultivées essentiellement pour l'alimentation, mais les quantités produites restent souvent faibles (quelques milliers de tonnes), destinées à une consommation locale. Aux Etats-Unis, les *Macrocystis*, algues brunes géantes (taille moyenne : 45 m) abondantes sur les côtes du Pacifique ont été intensément récoltées dans les années 1930 par les bateaux faucardeurs afin d'en extraire les alginates ou de les utiliser comme fertilisant. Depuis, elles font l'objet de tentatives de repeuplement avec plus ou moins de

succès.

Les microalgues

On désigne par microalgues des organismes unicellulaires, filamenteux ou coloniaux, de quelques micromètres à quelques centaines de micromètres, présentant un rapport surface/volume élevé favorisant leur flottabilité. Elles sont ubiquistes, pélagiques ou benthiques, abondantes dans les océans, les mers, les rivières, les lacs, mais aussi présentes plus discrètement sur les sol, les murs, l'écorce des arbres, etc.). Leur mode de reproduction est principalement asexué (division cellulaire rapide), ce qui facilite leur culture. Elles sont en général photoautotrophes, convertissant à la lumière le CO₂ en chaînes carbonées par photosynthèse, mais certaines sont mixotrophes voir hétérotrophes utilisant différents substrats organiques pour se développer. Elles ont besoin de nutriments comme les formes minérales de l'azote (NO₃⁻ et NH₄⁺), des phosphates, divers sels minéraux, parfois spécifiques comme la silice chez les diatomées. Enfin elles peuvent être nuisibles lorsqu'elles prolifèrent abondamment induisant une anoxie ou en libérant des toxines. Du fait de leur biodiversité, les microalgues présentent un important potentiel exploitable par l'industrie. En effet, suivant les espèces, elles sont riches en lipides et en acides gras poly-insaturés (Tableau II), en protéines, en pigments (Tableau III) et en antioxydants, etc. Elles sont donc présentes dans des secteurs très diversifiés comme celui des aliments fonctionnels, des compléments alimentaires, de la cosmétique, de l'industrie pharmaceutique et plus traditionnellement de l'aquaculture, pour ne citer que les principaux.

Prochainement, elles devraient participer à la production d'énergie renouvelable sous forme de biocarburant grâce à leur capacité à produire et à stocker en condition des stress de grandes quantités de lipides, source de biodiésel.

Les lipides des microalgues

Nous nous sommes intéressés aux lipides des microalgues [11] bien que les travaux concernant la composition lipidique des microalgues (teneurs en lipides totaux, différentes classes lipidiques, acides gras constitutifs) soient nombreux.

Tableau II. Teneurs en lipides totaux (% du poids sec) et en EPA et DHA (en % des lipides totaux) de quelques espèces de microalgues

Microalgues	Lipides (%)	EPA	DHA	Références
Bacillariophycées (Diatomées)				
<i>Chaetoceros</i> sp.	11-21	++	+	[4, 5]
<i>Skeletonema costatum</i>	13-24	+++	+	[6, 5]
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20-30	++++	+	[7]
<i>Thalassiosira pseudomona</i>	21-31	+++	-	[8]
<i>Nitzschia</i> sp.	45-47	++++	-	[7]
<i>Odontella aurita</i>	8-10	+++	+	[9]
Prymnesiophycées				
<i>Pavlova lutheri</i>	21-28	++++	+++	[4]
<i>Isochrysis</i> sp.	20-33	-	+++	[4, 7]
Prasinophycées				
<i>Tetraselmis</i> sp.	9-23	+	-	[5, 7]
Chlorophycées				
<i>Chlorella</i> sp.	28-45	+	-	[10, 7]
Eustigmatophycées				
<i>Nannochloropsis</i> sp.	31-68	++++	-	[7]
Dinophycées				
<i>Crythecodinium cohnii</i>	20	-	++++	[7]
Rhodophycées				
<i>Porphyridium cruentum</i>	10-15	+++	-	[11]

<1% +1 à 5% ++5 à 10% +++10 à 20% +++>20%

Tableau III. Les principaux pigments des microalgues, propriétés et utilisations

Pigments	Propriétés	Utilisations
Astaxanthine (rose)	Colorantes Anti-inflammatoires	Aquaculture Ex : coloration de la chair des saumons, des crevettes, des oeufs
Canthaxanthine	Anti-oxydantes	
Caroténoïdes		
β-carotène (orange)	Colorantes Anti-oxydantes	Industrie alimentaire, pharmacologique, cosmétologique et diététique
Lutéine (rouge-orange)		
Marennine (bleu)	Colorantes	Ostréiculture Ex : verdissement des huîtres de claires
Phycocyanine (bleu)	Colorantes, Marqueur fluorescent Anti-oxydantes Anti-inflammatoires	Complément alimentaire Diagnostique (marqueur) en recherche et en médecine
Phycoérythrine (rouge)	Colorantes Marqueur fluorescent Anti-oxydantes	Diagnostique (marqueur) en recherche et en médecine

Toutefois leur diversité et la plasticité de leur métabolisme expliquent la variabilité des résultats obtenus. Les facteurs abiotiques comme l'âge des cultures et les conditions environnementales (température, éclairage, nutriments, etc.) influencent beaucoup leur composition en lipides. Ainsi les teneurs en lipides totaux des microalgues peuvent varier entre 10 et 80 % de la masse de

matière sèche suivant l'espèce et les conditions de culture (Tableau II). Si les trois classes de lipides neutres (LN), glycolipides (GL) et phospholipides (PL) sont présentes, les lipides polaires (GL et PL), composants majeurs des membranes cellulaires, constituent 41 à 92 % des lipides totaux; alors que les LN de réserve ne représentent que 5 à 51 % des lipides totaux [10-14]. Au niveau nutritionnel, l'intérêt principal des microalgues est la présence d'acides gras polyinsaturés à longue chaîne (AGPI-LC) essentiellement les oméga-3 acides eicosapentaénoïque (EPA, 20:5 n-3) et docosahexaénoïque (DHA, 22:6 n-3) qu'elles apportent lorsqu'elles sont consommées sous forme de complément alimentaire. Dans ce contexte, en vue de préciser les conditions optimales de synthèse des acides gras oméga-3, nous avons étudié l'influence de l'éclairement visible et ultraviolet, de la source de carbone et de la température sur la composition lipidique chez deux Diatomées (*Skeletonema costatum* et *Odontella aurita*) et une Pavlovophycée (*Pavlova lutheri*) [15-18]. L'influence du niveau d'éclairement sur les voies de synthèse des AGPI-LC de *P. lutheri* a également été étudiée. [19,20]

Parmi les microalgues d'intérêt une diatomée marine cultivée depuis 1994 dans des bassins d'eau de mer (INNOVALG, Loire-Atlantique, FRANCE) a été agréée, en 2002, pour la consommation humaine, par l'AFSSA (Agence Française pour la Sécurité Sanitaire des Aliments). Elle est commercialisée sous forme lyophilisée comme complément alimentaire végétal riche en oméga-3, en silicium, en vitamines (B2, B6, C, E, PP), en provitamine A, en minéraux et en oligoéléments.

Une approche originale a consisté à étudier expérimentalement sur des modèles murins (rats mâles Wistar) les effets d'un lyophilisat de cette microalgue marine, *Odontella aurita*, apporté comme complément alimentaire chez des rats soumis à un régime hyper-lipidique. Les résultats obtenus [21] suggèrent un rôle préventif, voire protecteur d'*O. aurita*, en tant que complément alimentaire, contre les maladies cardiovasculaires par l'enrichissement du plasma et du foie en oméga-3, la diminution de la glycémie et des taux de triglycérides sérique et hépatique et la diminution du stress oxydant au niveau du foie. L'huile de poisson étant la source d'oméga-3 la plus fréquemment utilisée, une étude nutritionnelle comparative a été réalisée chez des rats soumis à

un régime hyperlipidique supplémenté ou non avec du lyophilisat d'*O. aurita* ou de l'huile de poisson. Les résultats obtenus montrent que, si les deux compléments alimentaires diminuent de façon similaire l'insulinémie et la teneur en lipides du sérum, le lyophilisat de microalgues est plus efficace que l'huile de poisson en réduisant les teneurs en lipides hépatiques et le développement de la stéatose hépatique induite par le régime hyperlipidique [22]. Par contre, les deux traitements réduisent de façon identique l'agrégation plaquettaire et le stress oxydant. Ces expérimentations mettent en évidence que les microalgues riches en oméga-3 sont une alternative aux huiles de poisson dans l'apport d'AGPI pour l'alimentation humaine. Elles présentent de nombreux avantages comme l'absence d'odeur, de contaminants comme les métaux lourds souvent abondants chez les poissons, d'être une ressource renouvelable dans la mesure où l'on sait les cultiver alors que les ressources halieutiques ont tendance à s'épuiser. Enfin, le coût de production des omégas-3 issus de microalgues semble moins élevé que ceux obtenus à partir du poisson et de plus ils présentent les mêmes effets bénéfiques sur la santé [23].

La production de biocarburant lipidique à l'aide de microalgues

Actuellement, les biocarburants lipidiques sont essentiellement produits à partir d'huiles extraites de plantes oléagineuses. Dans un avenir proche, les microalgues pourront être utilisées à cette fin. En effet, elles peuvent accumuler dans certaines conditions (stress) des acides gras jusqu'à 80 % de leur masse sèche permettant d'envisager des cultures avec des rendements à l'hectare 30 fois supérieurs aux espèces oléagineuses terrestres. Par ailleurs, elles permettent d'éviter les conflits avec l'approvisionnement alimentaire et la gestion de l'eau. Ces cultures peuvent être couplées à des rejets industriels de dioxyde de carbone et d'oxydes d'azote et réduire ainsi la pollution d'usines comme les centrales thermiques ou les cimenteries par exemple (un pilote est déjà fonctionnel aux USA). De plus, de nombreux sous-produits sont valorisables (biomasse pour l'alimentation animale, pigments, enzymes, antioxydants, etc.). Le procédé consiste à extraire,

de la biomasse produite, l'huile par pression ou à l'aide de solvants organiques; on obtient alors une huile brute directement utilisable dans certains moteurs diesel un peu rustiques ou encore par trans-estérification des acides gras de l'huile en présence de méthanol, on obtient des petites molécules de mono ester méthylique, biodiesel ou biokérosène. Très récemment de nombreuses sociétés se sont mises en place ou sont en projet dans le but de produire du biodiesel à partir de microalgues : aux USA (Solazyme, Sapphire Energy, ExxonMobil, Greenfuel technologies etc.), en Europe, au Pays-Bas et en Espagne, AlgaeLink, en France métropolitaine Safeoil, Diesalg, Fermentalg ou à la Réunion Bioalgastral, etc. Le frein au développement de ce carburant renouvelable reste sa rentabilité par rapport aux sources fossiles de carburant.

Autres utilisations des microalgues

Les microalgues, ou plutôt leurs résidus, issus de l'industrie cosmétique ont été utilisés pour fabriquer un enrobé à l'aide de bio-bitume de microalgues. La composition chimique du bio-bitume est très différente de celle du bitume issu du pétrole, toutefois elle présente des points communs comme la couleur noire et les propriétés rhéologiques. Liquide au-dessus de 100 °C, le bio-bitume permet d'enrober les agrégats minéraux ; viscoélastique entre 20 °C et 60 °C, il assure la cohésion de la structure granulaire, supporte les charges et relaxe les contraintes mécaniques. Il reste à vérifier la tenue sur route et dans le temps de ce nouveau matériau. Autre avantage, il serait nettement moins toxique pour les travailleurs de la route. Elles sont aussi cultivées dans des bioréacteurs installés en façade pour réguler thermiquement les bâtiments. On en extrait des huiles pour des applications dans les tensioactifs, les peintures et les revêtements dits bio-sourcés. Le groupe américain Cereplast a mis en place une filiale (Algaeplast) dédiée aux bioplastiques à base de microalgues. L'objectif d'Algaeplast est maintenant de proposer des polymères issus à 100 % de microalgues. Récemment "AlgoSolis", une plateforme de recherche dédiée à l'exploitation industrielle des micro-algues a été créée à Saint-Nazaire. Elle propose aux acteurs de cette nouvelle industrie une infrastructure de recherche permet-

tant l'exploitation contrôlée, intensifiée, durable et à grande échelle des micro-algues. Equipée de photobioréacteurs de grande taille et d'une bioraffinerie, les chercheurs et les entreprises pourront y élaborer et y optimiser en mi-grand des processus de production créant un trait d'union entre la recherche fondamentale et le monde industriel.

Culture des microalgues

Les microalgues comme leur nom l'indique sont difficilement visibles à l'œil nu hormis lorsqu'elles se développent abondamment en formant des «blooms» ou efflorescences en milieu naturel. Elles peuvent alors faire l'objet de récolte, c'est le cas de *Botryococcus braunii*, microalgue accumulant des hydrocarbures et utilisée par certaines peuplades africaines comme combustible. Suivant le même principe, une cyanobactérie, souvent rattachée aux microalgues, la spiruline (genre *Arthrospira*) est traditionnellement récoltée sur les rives du lac Tchad par les Kanembous depuis des millénaires pour sa richesse en protéines et sert à préparer une sauce, le « Dihé », complétant avantageusement leur alimentation en évitant les carences alimentaires. En Amérique du Sud, avant la conquête espagnole, les Aztèques consommaient des spirulines récoltées à la surface du lac Texcoco, séchées au soleil puis cuites pour former une sorte de galette, le "Tecuitlatl". Les principales microalgues actuellement utilisées par l'homme sont cultivées; cette culture, qui doit être réalisée en milieu confiné afin d'éviter les contaminations, présente des contraintes différentes de la culture des macroalgues. Si la production de « semence » ne nécessite pas la connaissance du cycle de reproduction des espèces dans la mesure où leur multiplication est essentiellement végétative par division des cellules, les techniques développées empruntent beaucoup de concepts à la microbiologie et à la biotechnologie (milieu de culture, numération, culture en batch ou en milieu renouvelé, conception de photobioréacteurs, etc.). Elle nécessite des compétences en culture plus importantes pour gérer les différents flux : apport de lumière, de CO₂, de nutriments, rejet d'oxygène, récolte, etc. Par contre les domaines d'applications sont très diversifiés. Elles sont ainsi utilisées : En aquaculture dans l'alimentation des bivalves, on parle alors de microalgues fourrages.

Pour le traitement des eaux usées dans les stations d'épuration par lagunage en apportant dans certains bassins le dioxygène issu de leur photosynthèse.

Dans la production de substituts protéiques pour l'alimentation animale et humaine.

- En vue de l'extraction de biomolécules intéressantes ou de leur excrétion dans le milieu comme des pigments, des acides gras oméga-3, des enzymes (SOD), des vitamines, etc.

- En vue de la production d'énergie directement (biohydrogène et biodiésel) ou indirectement par fermentation anaérobie de la biomasse.

- En chimie verte comme ressource renouvelable en remplacement du pétrole fossile pour produire des bio-polymères, des plastiques biodégradables, des lipides, des tensio-actifs et des polysaccharides.

- En ce qui concerne l'environnement, elles participent à la lutte contre l'effet de serre par leur capacité à fixer le dioxyde de carbone en conditions naturelles mais aussi artificiellement lorsque les dispositifs de culture sont couplés au rejet gazeux de l'industrie (centrales thermiques ou cimenteries).

En milieu naturel la productivité de la plupart des microalgues est trop faible pour permettre une valorisation de cette biomasse aussi a-t-il été nécessaire de développer des procédés de culture en conditions artificielles favorisant leur développement. Plusieurs systèmes sont actuellement développés :

- Les systèmes ouverts naturels (lagunes) ou artificiels (bassins de faibles profondeurs afin de permettre aux rayons lumineux de pénétrer jusqu'au fond) ; une agitation mécanique du milieu de culture (par exemple, à l'aide de roues à aube) est indispensable afin d'éviter les phénomènes d'auto-ombrage et la sédimentation des cellules. Les inconvénients majeurs de ces systèmes ouverts sont la difficulté de maintenir, hormis pour certaines espèces, une culture mono-spécifique avec des risques de contamination importants, un contrôle difficile des paramètres de croissance et de leur régulation, une dépendance vis-à-vis des conditions climatiques et une récolte de la biomasse produite souvent difficile. Quelques espèces dont les exigences sont très précises peuvent se développer en système ouvert dans un milieu sélectif excluant toute contamination. C'est le cas

depuis de nombreuses années pour *Dunaliella salina* qui se développe bien dans un milieu à forte salinité, pour les chlorelles qui se développent préférentiellement dans un milieu riche en nutriment et pour les cyanobactéries du genre *Arthrospira* (spirulines) qui se développe en culture pure en milieu très alcalin et riche en bicarbonate.

- Les systèmes clos dont les plus sophistiqués sont de véritables photo-bioréacteurs industriels couvrant de grandes surfaces, copie des dispositifs expérimentés en laboratoire. Leur aspect est très variable mais le plus souvent basés sur des tubes transparents en polyéthylène exposés à la lumière solaire horizontalement ou verticalement; dans ces tubes, les microalgues en suspension dans le milieu de culture sont propulsées par une pompe et vont circuler en permanence. Ce procédé permet une récolte en continu (nutriments constamment ajoutés dans le milieu), en semi continu (récolte à intervalles régulier de la biomasse avec remplacement par du milieu frais) ou en batch (récolte de la totalité) d'une culture monospécifique qui peut-être maintenue axénique. Dans ces conditions, on peut facilement contrôler les paramètres de croissance et ce qui permet de cultiver des espèces non dominantes en milieu naturel. La récolte peut facilement être automatisée, toutefois les installations restent coûteuses à la fois à mettre en place et à faire fonctionner et ne se justifie que pour produire des microalgues riches en biomolécules à haute valeur ajoutée.

- La production hétérotrophique, donc en absence de lumière en fermenteur, est une technique récemment appliquée aux microalgues et qui permet de cultiver certaines espèces dites mixotrophiques. Cette technique culturale où le sucre doit être apporté dans le milieu semble très productive et tend à se développer. Ainsi un dinoflagellé, *Cryptocodinium cohnii*, est cultivé au USA en hétérotrophie pour la production de DHA. La culture est réalisée en fermenteurs classiques. La biomasse, récoltée par centrifugation, est séchée puis broyée et l'huile (riche en DHA) est extraite à l'aide d'un solvant. Une société française "Fermentalg" développe actuellement un système similaire près de Bordeaux. Quelle que soit la technique de culture et de récolte utilisée on obtient de la pâte d'algue dont il faudra extraire les

différents composants d'intérêt. Si dans certains cas l'algue est commercialisée après lyophilisation comme les *Odontella* ou les Spirulines afin d'être consommée sous forme de gélules, la plus part du temps des procédés d'extraction sont utilisés pour récupérer les molécules d'intérêt (pigments, lipides) en broyant et en pressant les cellules ou en utilisant des solvants organiques.

Conclusions

Bien que la biodiversité soit importante chez les algues, ces organismes ont en commun un caractère essentiel : la capacité à fabriquer leur matière organique par photosynthèse.

Les macroalgues et les microalgues se distinguent par de nombreuses caractéristiques menant à des filières de production et de valorisations très différentes. Ces principales différences portent à la fois sur les modes de culture : essentiellement en milieu marin naturel pour les macroalgues, et en bassins ou en photobioréacteurs dans un milieu artificiel pour les microalgues; sur les techniques de récoltes : ramassage facile, pour les macroalgues et séparation-concentration proche des biotechnologies techniquement plus difficiles à mettre en œuvre pour les microalgues. Plus de 25 millions de tonnes de macroalgues sont produites ou récoltées au niveau mondial alors que la production mondiale de microalgues reste anecdotique estimée à un peu plus de 10 000 tonnes de matière sèche par an. Si la destination principale des macroalgues est l'agroalimentaire soit directement comme aliments soit sous forme d'extraits, les microalgues sont la source de nombreuses molécules qui intéressent vivement l'industrie pharmaceutique et cosmétologique [24]. A l'encontre de la filière macroalgues largement développée et qui a une longue antériorité, la filière microalgues beaucoup plus récente (année 1970), compte tenu de ses nombreuses applications, devrait dans un avenir proche se développer intensément aussi bien en Europe que dans les pays émergents qui présentent l'avantage de disposer à la fois de conditions climatiques favorables et de territoires disponibles

Remerciements

Je remercie vivement Mme le professeur Annick Morant-Manceau pour ses remarques judicieuses et ses corrections.

Conflit d'intérêts

Aucun.

Références

1. Renard-Merlier D., Randoux B., Nowak E., Farcy F., Durand R., Reignault P. Ioduric acid, salicylic acid, heptanoyl salicylic acid and trehalose exhibit different efficacies and defense targets during a wheat/powdery. *Phytochemistry* 2007; 68 (8):1156-64.
2. Marouf A., Tremblin G. Abrégé de biochimie appliquée. Grenoble: EDP-Sciences; 2015, p.1-540.
3. Perez R., Kaas R., Barbaroux O. Culture expérimentale de l'algue *Undaria pinnatifida* sur les côtes de France. *Science et Pêche* 1984;343:3-16.
4. Reitan KI., Rainuzzo JR., Olsen Y. Effect of nutrient limitation on fatty acid and lipid content of marine microalgae. *J Phycol* 1994; 30:972-9.
5. Renaud SM., Thinh LV., Lambrinidis G., Parry DL. Effect of temperature on growth, chemical composition and fatty acid composition of tropical Australian microalgae grown in batch cultures. *Aquaculture* 2002; 211:195-214.
6. Shifrin NS., Chisholm SW. Phytoplankton lipids: interspecific differences and effects of nitrate, silicate and light-dark cycles. *J Phycol* 1981;17:374-84.
7. Chisti Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnol Adv* 2007;25:294-306.
8. Brown MR., Jeffrey SW., Volkman JK., Dunstan GA. Nutritional properties of microalgae for mariculture. *Aquaculture Fish Nutrition and Feeding Proceedings of the Sixth International Symposium on Feeding and Nutrition in Fish* 1997;151:315-31.
9. Braud JP. Simultaneous culture in pilot tanks of the macroalga *Chondrus crispus* (Gigartina-

- ceae) and the microalga *Odontella aurita* (Eupodiscaceae) producing EPA. In: *Marine microorganisms for industry*. Le Gal Y., Muller-Feuga A. (Eds), Actes de colloques - Ifremer; 1997, p. 39-47
10. Piorreck M., Baasch KH., Pohl P. Biomass production, total protein, chlorophylls, lipids and fatty acids of freshwater green and blue-green algae under different nitrogen regimes. *Phytochemistry* 1984;23:207-16.
 11. Alonso DL., Belarbi EH., Rodriguez-Ruiz J., Segura Cl., Gimenez A. Acyllipids of three microalgae. *Phytochemistry* 1998;47:1473-81.
 12. Guihéneuf F. Régulation par des facteurs environnementaux de la synthèse des acides gras à longue chaîne de différentes espèces de microalgues marines. Thèse de doctorat, Université du Maine (France) 2008;202 p. <http://www.theses.fr/2008LEMA1011>
 13. Berge J.P., Gouygou J.P., Duback J.P., Durand P. Reassessment of lipid composition of the diatom, *Skeletonema costatum*. *Phytochemistry* 1995;39:1017-21.
 14. Tatsuzawa H., Takizawa E. Changes in lipid and fatty acid composition of *Pavlova lutheri*. *Phytochemistry* 1995;40:397-400.
 15. Eichenberger W., Gribi C. Lipids of *Pavlova lutheri*: Cellular site and metabolic role of DGCC. *Phytochemistry* 1997;45:1561-7.
 16. Guihéneuf F., Mimouni M., Ulmann L., Tremblin G. Environmental factors affecting growth and omega 3 fatty acid composition in *Skeletonema costatum*. The influences of irradiance and carbon source. *Diat Res* 2008; 23:93-103.
 17. Guihéneuf F., Fouqueray M., Mimouni V., Ulmann L., Jacquette B., Tremblin G. Effect of UV stress on the fatty acid and lipid class composition in two marine microalgae *Pavlova lutheri* (Pavlovophyceae) and *Odontella aurita* (Bacillariophyceae). *J Appl Phycol* 2010; 22:629–38.
 18. Guihéneuf F., Mimouni M., Ulmann L., Tremblin G. Light-dependent utilization of two radiolabelled carbon sources, sodium bicarbonate and sodium acetate. Relationships with the long chain polyunsaturated fatty acid synthesis in the microalga *Pavlova lutheri* (Pavlovophyceae). *Eur J Phycol* 2011;46(2): 143-52.
 19. Pasquet V., Jacquette B., Morant- Manceau A., Tremblin G. Fatty acids profile and temperature in the cultured marine diatom *Odontella aurita*. *J Appl Phycol* 2014;26:2265–71.
 20. Guihéneuf F., Mimouni M., Ulmann L., Tremblin G. Use of radiolabeled substrates to determine the desaturase and elongase activities involved in eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid biosynthesis in the marine microalga *Pavlova lutheri*. *Phytochemistry* 2013;90:43-9.
 21. Guihéneuf F., Mimouni V., Tremblin G., Ulmann L. Light Intensity Regulates LC-PUFA Incorporation into Lipids of *Pavlova lutheri* and the Final Desaturase and Elongase Activities Involved in Their Biosynthesis. *J Agri Food Chem* 2015;63(4):1261-7.
 22. Haimeur A., Ulmann L., Mimouni V., Guéno F., Pineau-Vincent F., Meskini N., Tremblin G. The role of *Odontella aurita*, a marine diatom rich in EPA, as a dietary supplement in dyslipidemia, platelet function and oxidative stress in high-fat fed rats. *Lipids Health Dis* 2012;11: 147. doi: 10.1186/1476-511X-11-147.
 22. Haimeur A. Etude comparative de l'effet des microalgues marines et des huiles d'argan et de poisson sur le métabolisme lipidique et la fonction plaquettaire chez le rat et chez des patients dyslipidémiques : recherche de l'effet antiagrégant et exploration du mécanisme d'action dans le but de prévenir les maladies cardiovasculaires. Thèse de doctorat, Université du Maine (France) et de Mohammedia (Maroc), 2014; 229 p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01295306/document>
 23. Mimouni V., Ulmann L., Haimeur A., Guéno F., Meskini N., Tremblin G. Marine microalgae used as food supplements and their implication in preventing cardiovascular diseases. *OCL* 2015 22(4):1-7. DOI: 10.1051/ocl/2015015
 24. Mimouni V., Ulmann L., Pasquet V., Mathieu M., Picot L., Bougaran G. et al. The potential of microalgae for the production of bioactive molecules of pharmaceutical interest. *Curr Pharm Biotechnol* 2012;13:2733-50. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01248050>

Composés bioactifs

Gélatines de poisson : Préparation, propriétés et applications

Fish gelatins : Preparation, properties and applications

Mourad JRIDI, Moncef NASRI*

Laboratoire de Génie Enzymatique et de Microbiologie. Université de Sfax.
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax. BP 1173-3038 Sfax. Tunisie

Reçu le 15 mai 2016, Révisé le 10 juin 2016, Accepté le 12 juin 2016

*Auteur correspondant : jridimourad@gmail.com

Résumé Les industries alimentaires et pharmaceutiques du monde entier assistent à une demande croissante en gélatine, un biopolymère qui dérive du collagène. Cette protéine a suscité beaucoup d'attention pour sa biocompatibilité, sa biodégradabilité et pour ses propriétés biologiques et techno-fonctionnelles. Les gélatines porcine et bovine, étant les plus utilisées, sont soumises à de fortes contraintes et scepticismes chez les consommateurs, en raison des préoccupations aussi socioculturelles que sanitaires. Les gélatines de poisson possèdent des caractéristiques presque similaires à celles des gélatines animales (porcine et bovine) et peuvent donc être considérées comme alternative à la gélatine des mammifères. D'autre part, la production de gélatines, à partir des peaux de poisson, contribue aussi à la réduction des sous-produits des industries de la pêche. Etant donné ses propriétés techno-fonctionnelles, la gélatine a de nombreuses applications, notamment dans les domaines alimentaires, pharmaceutiques et photographiques. Cette revue énumère les différents procédés de préparation de gélatine marine et présente leurs principales propriétés et leurs applications potentielles dans plusieurs secteurs industriels.

Mots clés : *Gélatine de poisson, Procédés de préparation, Propriétés physicochimiques, Bio-emballage, Applications alimentaires et pharmaceutiques*

Abstract Foods and pharmaceutical industries all over the world attend an increasing demand for gelatin, a biopolymer derived from collagen. Gelatins are widely used due to their biocompatibility, biodegradation, physical and functional properties. Porcine and bovine gelatins, the most commonly used, are subject to major constraints and skepticism among consumers, this is due to socio-cultural and health-related issues. Therefore, there is an increasing demand for alternative sources. The by-products generated by fish-processing industries are a potential source for the production of gelatins. Fish gelatin possesses interesting characteristics and may thus be considered as an alternative to mammalian gelatin for use in food, pharmaceutical and photographic products. This review enumerates gelatin preparation processes, as well as, their physical properties, and their potential applications in many fields, such as food, pharmacy and photography industries.

Keywords: *Fish gelatin, Extraction process, Physico-chemical properties, Edible film, Food and pharmaceutical applications*

Introduction

La gélatine est industriellement extraite à partir de trois principaux types de matières premières : les peaux de porcs et de bovins et les os. La demande mondiale en gélatine a augmenté au cours de ces dernières années. Des rapports récents indiquent qu'à l'échelle mondiale, la production annuelle de la gélatine est de l'ordre de 326 000 tonnes, dont 46% extraite de la peau de porcs, 29,4% de la peau des bovins, 23,1% des os et 1,5% d'autres sources [1]. Arnesen & Gildberg [2] ont rapporté que la production de la gélatine de poisson reste toujours faible, elle contribue seulement à environ 1% de la production mondiale annuelle de gélatine. Vu les contraintes socioculturelles, la recherche d'autres matières premières pouvant servir à la fabrication de gélatines est donc particulièrement importante, puisqu'elle permet l'obtention d'une variété de gélatines, ayant des propriétés physiques et biologiques différentes de celles qui sont actuellement commercialisées.

Les industries de conditionnement et de transformation des produits de la pêche génèrent des coproduits marins qui présentent plus de 15% de la capture annuelle. Les co-produits sont définis comme les parties non utilisées et récupérables lors des opérations traditionnelles de production et de conditionnement. Traditionnellement, les coproduits (ou déchets) de la pêche sont soit rejetés, soit transformés. Vu leur richesse en

collagène, plusieurs travaux ont été réalisés en vue de valoriser ces rejets par l'extraction de la gélatine. De ce fait, la gélatine marine, extraite à partir des coproduits de transformation de poisson, présente une excellente alternative à la gélatine bovine et porcine, puisque les organismes aquatiques, et spécialement les poissons, contiennent une haute teneur en collagène.

L'avantage majeur de la gélatine, d'origine marine, est qu'elle est acceptable par l'Islam et qu'elle n'est pas associée au risque de la maladie de la vache folle (encéphalite spongiosa bovine). La production de la gélatine marine, par des extractions acides, et ses applications industrielles datent depuis 1960 [3].

La gélatine est une protéine obtenue par hydrolyse partielle du collagène, constituant principal de la peau, les arrêtes et les tissus conjonctifs. La gélatine est largement utilisée dans plusieurs secteurs industriels : alimentaire, pharmaceutique, photographique, etc.

Moyennant différentes méthodes, la gélatine marine a été extraite à partir de plusieurs espèces de poissons et d'invertébrés marins, à savoir la morue (*Gadus morhua*) [4], la perche du Nile (*Lates niloticus*) [5], le thon albacore (*Thunnus albacares*) [6], la courbine barbiche (*Johnius dussumieri*), le comète fine (*Decapterus macrostoma*) [7], le poisson chat (*Ictalurus punctatus*) [8], le thon [9], le calamar (*Dosidicus gigas*) [10], le baliste (*Balistes capricus*) [11], le zebra blenny

(*Salaria basilisca*) [12], la raie bouclé (*Raja clavata*) [13], le poulpe (*Octopus vulgaris*) [14], et la seiche (*Sepia officinalis*) [15].

Cette revue bibliographique donne une vue d'ensemble des différents procédés d'extraction de la gélatine à partir des coproduits de la pêche, de leurs propriétés fonctionnelles, ainsi que de leurs domaines d'application.

La gélatine

La gélatine est obtenue par hydrolyse partielle du collagène, la principale protéine trouvée dans les os et la peau des animaux (porc, bovins...). Sa masse moléculaire varie de 30 à 200 kDa [16]. Elle est constituée de 84 à 90% de protéines et d'environ 1% de sels minéraux. Avec une production annuelle qui dépasse les 326 000 tonnes en 2009, la gélatine est devenue un produit de consommation usuelle que l'on retrouve dans tous les domaines de la vie moderne. Une fois dissoute, la gélatine de poisson a l'avantage d'être inodore et incolore ce qui facilite son utilisation dans les études nutritionnelles chez l'humain.

Il existe deux types de gélatine selon la nature de la matière première et le traitement appliqué pour le gonflement et le ramollissement des peaux. La gélatine de type A, obtenue par traitement acide appliqué pour des matériaux moins réticulés, comme le collagène de la peau de porc et de poisson. Le point isoélectrique est compris entre 6 et 7. La gélatine de type B, obtenue par traitement basique, appliqué pour des collagènes plus complexes, comme ceux du cuir bovin. Le point isoélectrique est voisin de 5.

La gélatine est un polymère naturel, dont l'usage actuel est devenu largement répandu dans les industries agroalimentaire, photographique et pharmaceutique. En effet, la gélatine possède des qualités particulières recherchées par les industries pour obtenir des textures spécifiques. Elle fait partie de la famille des hydrocolloïdes, dont les fonctions principales sont d'épaissir, de gélifier et de stabiliser. La propriété « gélifiante » de la gélatine est la plus connue et la plus utile. Son avantage majeur réside du fait qu'elle est capable de former un gel thermoréversible qui fond à un degré voisin de celui de la température du corps humain, sans modifier la qualité gustative du

produit cible.

L'exemple de gélatines de poisson commercialisées : Gélatine de poisson en poudre 200 BLOOM – TOPCAKE. Référence TC966390. Cette gélatine, issue de peaux de poisson traitées par voie acide, est une alternative à la gélatine porcine ou bovine. Son conditionnement est en pot de 100 g (poudre blanche). Elle est principalement utilisée comme agent gélifiant, mais aussi comme agent foisonnant ou de clarification, stabilisateur, épaississant, liant, etc.

La composition en acides aminés des gélatines, issues de différentes sources, varie en fonction de la matière première et du procédé d'extraction utilisé. Le tableau I présente la composition en acides aminés des gélatines, extraites à partir de certaines espèces de poissons et d'invertébrés marins. Elles sont riches en glycine, un acide aminé caractéristique du collagène, le constituant majeur de la peau des poissons. Les autres acides aminés majoritaires, constituant la gélatine, sont la proline et l'hydroxyproline. La gélatine contient huit acides aminés essentiels, contre un taux élevé d'acides aminés non essentiels. Par ailleurs, il est à noter que les gélatines ne contiennent pas de tryptophane et sont déficitaires en isoleucine, thréonine et méthionine. Par ailleurs, les gélatines de poissons sont caractérisées, également, par des teneurs faibles en imino-acides (proline et hydroxyproline), en comparaison à celles des mammifères. Ces teneurs sont de l'ordre de 25-30% pour les gélatines de mammifères, 18-23% pour la gélatine de poissons d'eau chaude (le tilapia et la perche du Nile) et 16% pour la gélatine de poissons d'eau froide (la morue et le saumon) [4].

La teneur en imino-acides (Pro + Hyp), pour la gélatine de la peau de seiche, est de l'ordre de 178 résidus pour 1000 résidus [15]. Cette teneur en imino-acides est plus élevée que celle de la gélatine de baliste (150 résidus pour 1000 résidus) [11], mais inférieure à celle du poisson-chat géant (211 résidus pour 1000 résidus) [17].

Procédés de préparation de gélatines de poisson

D'une manière générale, les procédés de fabrication de gélatines, à partir des peaux de poisson, se réalisent en quatre étapes : prétraitement, solubi-

Tableau I. Composition en acides aminés de quelques gélatines de poisson

Acides aminés	Morue	Colin d'Alaska	Lingue	Cardine	Tilapia	Seiche	Poulpe
Ala	96	106	119	123	94	123	52
Arg	56	51	54	54	54	47	20
Asx	52	51	49	48	60	48	35
Cys	0	0	0	0	0	0	0
Glx	78	74	74	72	82	69	54
Gly	344	358	331	350	325	347	310
His	8	8	10	8	17	6	165
Hyl	6	6	5	5	0	8	0
Hyp	50	55	59	60	87	79	45
Ile	11	11	9	8	23	8	68
Leu	22	20	23	21	10	23	31
Lys	29	26	28	27	27	25	14
Met	17	16	15	13	4	9	7
Phe	16	12	15	14	10	13	31
Pro	106	95	114	115	91	119	56
Ser	64	63	49	41	51	35	33
Thr	25	25	22	20	21	24	64
Trp	0	0	-	-	-	0	-
Tyr	3	3	4	3	5	2	6
Val	18	18	19	18	23	15	39
Imino acides (Pro+Hyp)	156	150	173	175	178	196	101
Références	[16]	[16]	[16]	[16]	[15]	[15]	[14]

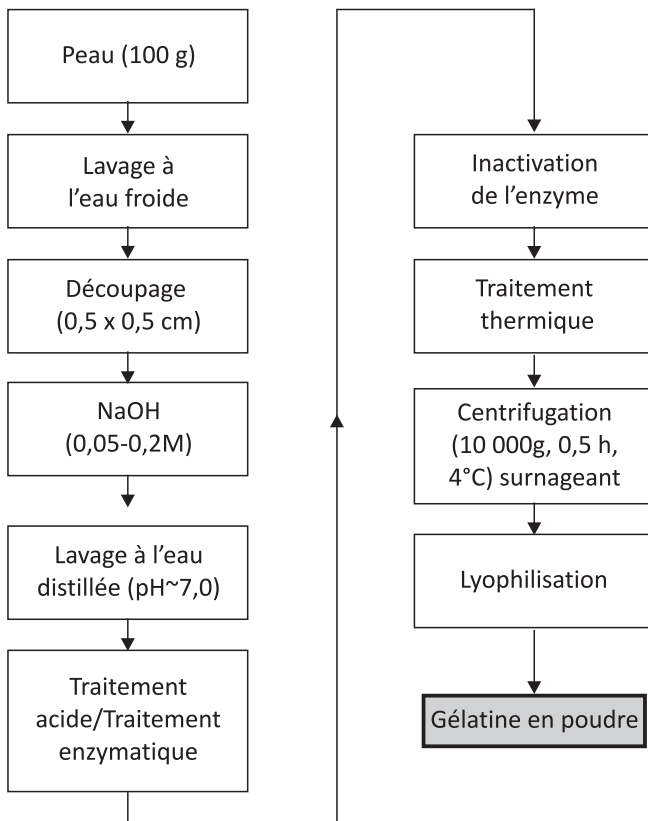


Fig. 1. Diagramme d'extraction de la gélatine à partir des peaux de poisson et d'invertébrés marins

lisation du collagène, traitement thermique et raffinement (Fig. 1). Le collagène des poissons n'étant pas très réticulé, deux types de traitement peuvent être appliqués: le procédé acide et le procédé enzymatique.

Procédé acide

Prétraitement : Les peaux de poisson fraîches ou partiellement séchées sont, soit découpées en morceaux, soit broyées. Elles subissent, ensuite, un traitement par une solution de NaOH (0,05-0,2 M), pendant au moins 2 heures à température ambiante (environ 15 à 25±1°C), pour éliminer les pigments et les protéines non collagènes. Les peaux, ainsi traitées, sont par la suite abondamment lavées à l'eau de robinet pour éliminer l'excès de base, puis le pH est ajusté à 7,0.

Solubilisation du collagène : Traitement acide : La peau traitée par la solution alcaline est immergée, sous agitation, dans une solution aqueuse d'acide organique, tels que l'acide acétique, l'acide citrique (0,2 M), avec un ratio de 1:10 (w/v) à titre d'exemple, ou d'acide minéral (acide sulfurique, acide chlorhydrique, acide nitrique). Le traitement acide est effectué, à température ambiante (environ 15 à 25 °C), pendant 4 à 48 h, selon la nature de la matière première et la concentration de l'acide utilisé. Après incubation, le pH du mélange est ajusté à 7,5, puis le mélange est maintenu sous agitation douce, pendant au moins une heure à 4°C.

Le prétraitement acide doux permet de rompre certaines liaisons (non covalentes intra et intermoléculaires) du collagène de peau de poisson [3]. Il a

pour objectif le gonflement et le ramollissement des peaux en préparation à la dénaturation et l'extraction de la gélatine.

Le type d'acide utilisé, sa concentration et le temps de traitement influent sur les propriétés viscoélastiques et de gélification.

Conversion du collagène en gélatine par traitement thermique : Cette étape est le résultat de la dénaturation de la structure tertiaire de la triple hélice du tropocollagène. L'extraction est effectuée dans un milieu neutralisé (pH~7,5). Le collagène, partiellement purifié, est converti en gélatine par extraction à une température > 50°C pendant plusieurs heures, sous agitation continue de 200 rpm.

Les conditions d'extraction (notamment la température et la durée d'extraction) peuvent affecter la longueur des chaînes peptidiques, et par conséquent, les propriétés physico-chimiques, texturales et techno-fonctionnelles des gélatines résultantes.

Raffinement : Enfin, la solution de gélatine est collectée par décantation ou par filtration, clarifiée puis séchée. Le séchage permet l'obtention de la gélatine sous forme d'une poudre fine et stabilisée. La qualité et la pureté de la gélatine sont ensuite garanties par de minutieux contrôles physico-chimiques et bactériologiques.

Plusieurs travaux ont mis en exergue l'influence du type et de la source de la matière première sur le rendement d'extraction de gélatine obtenu, qui varie de 5,5 à 21% de la masse de la matière première [5,18,19]. Cette variation est attribuée, essentiellement, à la différence de la teneur en collagène dans la matière première utilisée.

Le tableau II illustre quelques procédures appliquées pour l'extraction des gélatines, à partir de plusieurs espèces d'organismes marins.

Procédé enzymatique

Le procédé enzymatique se distingue des procédés connus par l'étape de solubilisation du collagène qui est assurée par un traitement enzymatique, nécessitant une protéase acide, tels que la pepsine ou des extraits digestifs acides. Ces enzymes acides peuvent être utilisées à des concentrations allant de 2,5 à 15 U/g de matière première. Le traitement enzymatique est effectué pendant 18 h à pH 3,0 et à 4°C.

Le procédé enzymatique permet ainsi l'obtention d'une gélatine de poisson gélifiante de haute qualité, sans goût ni odeur de poisson. Toutefois, l'utilisation d'une dose en enzyme élevée ou un traitement prolongé conduit à l'obtention d'une gélatine non gélifiante, due à l'extension de l'hydrolyse de la gélatine.

L'intérêt du procédé enzymatique est multiple. Le traitement améliore considérablement le rendement d'extraction de la gélatine; il permet l'obtention d'une variété de types de gélatines, selon notamment la teneur en enzyme, présentant des propriétés thermiques, mécaniques, et voire même fonctionnelles et biologiques différentes.

Nalinanon *et al.* [20] ont montré que l'utilisation de la pepsine permet d'améliorer le rendement d'extraction de gélatine de la peau de beauclaire. De même, dans des travaux antérieurs, nous avons aussi montré que l'ajout de la pepsine commerciale (avec une concentration de 5 U/g de peau) augmente le rendement de la gélatine, extraite à partir de la peau de la seiche qui passe de 3 à 7% [15]. Il est bien connu que la pepsine hydrolyse efficacement le site de réticulation intermoléculaire du collagène, ce qui accélère la solubilisation du collagène à des pH acides. Une amélioration des rendements d'extraction de la gélatine, par traitement enzymatique, à partir de la raie bouclée, a été aussi rapportée par Lassoued *et al.* [13]. Le rendement, suite à un traitement dans une solution aqueuse d'acide acétique, est de 18,32%, alors qu'il est de 30,16% dans la même solution, additionnée de pepsine, à raison de 5 U/g de peau. Ces résultats démontrent que le rendement dépend des conditions d'extraction et de la nature de la matière première utilisée.

Caractérisation physicochimiques des gélatines de poisson

Propriétés rhéologiques et texturales

L'un des principaux critères utilisés pour déterminer la qualité de la gélatine est le " Bloom ".

Ce dernier est l'unité qui mesure le pouvoir gélifiant de la gélatine. Plus la valeur du Bloom est élevée, plus la force en gel est importante. Cette propriété varie selon la masse moléculaire, la composition en acides aminés, ainsi que le rapport

Tableau II. Différentes procédures d'extraction de gélatine à partir des espèces d'origine marine

Espèces	Procédures d'extraction	Références
Baliste (<i>Balistes capriscus</i>)	Traitement par une solution de NaOH 0,2 M (1:10 m/v) pendant 1,5 h à 4°C puis lavage avec l'eau distillée jusqu'à neutralité. Puis immersion dans une solution d'acide acétique 0,05 M (1:10 m/v) à 4°C pendant 6 h. L'extraction de la gélatine est effectuée dans l'eau distillée à 50°C pendant 18 h.	[11]
Zebra blenny (<i>Salaria basilisca</i>)	Prétraitement alcalin, traitement acide ou enzymatique (pepsine) puis traitement thermique.	[12]
Raie bouclée (<i>Raja clavata</i>)	Prétraitement alcalin, traitement acide ou enzymatique (pepsine) puis traitement thermique.	[13]
Poulpe (<i>Octopus vulgaris</i>)	Prétraitement alcalin, un traitement enzymatique (pepsine) extraction à chaud.	[14]
Seiche (<i>Sepia Officinalis</i>)	Prétraitement alcalin, un traitement enzymatique (pepsine) extraction à chaud.	[15]
Beauclaire (<i>Princanthus tayenus</i>)	Traitement alcalin par une solution de NaOH 2,5 mM pendant 2 h à 28°C, ensuite incubation dans une solution d'acide acétique 0,2 M (1:10) en présence de la pepsine à 4 °C pendant 24 h. Extraction à 45 °C pendant 12 h sous une agitation douce à pH 7,5.	[20]
Esturgeon japonais (<i>Acipenser schrenckii</i>)	Prétraitement alcalin puis acide avec un dégraissage par l'alcool butylique suivis par un traitement thermique.	[21]
Saumon noir (Cobia) (<i>Rachycentron canadum</i>)	Prétraitement alcalin, traitement acide suivis par un traitement thermique.	[22]
Seiche (<i>Sepia pharaonis</i>)	Prétraitement alcalin avec un blanchiment par le H ₂ O ₂ suivi d'un traitement thermique.	[23]
Tilapia (<i>Tilapia zillii</i>) (écailles)	Prétraitements alcalin et acide suivis par un traitement thermique à différents pH.	[24]
Carpe argentée (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)	Prétraitements alcalin et acide avec un dégraissage par l'isopropanol suivis par un traitement thermique.	[25]
Morue du Pacifique (<i>Gadus macrocephalus</i>)	Traitement alcalin suivi par un traitement thermique puis hydrolyse enzymatique par les endopeptidases gastriques (pepsine, trypsine et α -chymotrypsine).	[26]
Carpe herbivore (<i>Ctenopharyngodon idella</i>)	Traitement acide par une solution de HCl (0,1-0,3%) puis incubation à 7 °C. L'extraction, précédée par un lavage à l'eau, est réalisée à différentes températures allant de 40 à 80 °C sous une agitation de 180 rpm.	[27]

entre les deux chaînes α et β (α/β), présentes dans la structure de la gélatine [28,29]. Généralement, la force du gel de la gélatine commerciale est comprise entre 100 et 300 g. Toutefois, une gélatine avec une force de 250 à 260 g est la plus demandée. Le tableau III montre quelques valeurs des températures de fusion et de gélification et la force du gel de certaines gélatines d'origine marine. Les valeurs diffèrent d'une gélatine à une autre, selon la composition en acides aminés et les conditions d'extraction. D'autre part, la gélatine, à haut degré Bloom, a une température de gélification plus élevée que la gélatine à faible degré Bloom.

Vu la carence en hydroxyproline et en proline, par rapport à la gélatine bovine, les gels des gélatines marines sont caractérisés par une dureté inférieure à celle de la gélatine bovine [29]. De même,

Tableau III. Propriétés physiques de certaines gélatines de poissons et d'invertébrés marins

Espèces	Température de fusion (°C)	Température de gélification (°C)	Force de gel (g)	Références
Morue	13,8	11-12	~90	[29]
Merlu	14	11-12	~110	[29]
Sole	19,4	18-19	350	[29]
Cardine	18,8	18-19	240	[29]
Courbine	18,5	7,1	124,9	[7]
Carangue	24,5	9,9	176,9	[7]
Perche du Nil	26,3	13,8	222	[5]
Carpe herbivore	26,8	19,5	267	[27]
Albacore	24,3	18,7	426	[6]
Merlu	12-13	11	150	[2]
Barbue	23-27	15-18	243-256	[8]
Seiche	19-25	12-21	120-198	[15]
Poulpe	19-24	13-19	62-283	[14]

les températures de gélification et de fusion des gélatines marines sont inférieures à celles de la gélatine bovine [24,30].

Dans le cas des gélatines pepsiques, les propriétés physiques des gélatines extraites dépendent de la dose d'enzyme utilisée [15]. Les gélatines G0, G5, G10 et G15, obtenues par extraction avec 0, 5, 10 et 15 U pepsine/g de peau, possèdent des valeurs en g de l'ordre de 198, 197, 162 et 120, respectivement [15]. Ces résultats prouvent que la solubilisation du collagène, par un traitement enzymatique, diminue la dureté de gel et favorise le clivage des chaînes α dans les régions télo-peptidiques et élabore des fragments de faible poids moléculaires. Plus la dose d'enzymes appliquée est élevée, plus le degré bloom est faible.

Par ailleurs, il est intéressant de noter que la gélatine est douée d'un pouvoir de rétention d'eau assez important. En effet, la gélatine gonfle et absorbe environ 5 à 10 fois son volume d'eau, une fois plongée dans l'eau froide. Toutes ces caractéristiques confèrent à la gélatine des propriétés fonctionnelles intéressantes, d'où son utilisation fréquente dans les industries alimentaires. En effet, dans les produits laitiers, la gélatine offre des propriétés texturales spécifiques qui donnent un aspect fondant dans la bouche et onctueux, similaire à celui des graisses. La gélatine est généralement utilisée avec des doses allant de 5 à 12% de la totalité du produit final.

Capacité émulsifiante et pouvoir moussant

Grâce à ses propriétés tensioactives, la gélatine est utilisée comme un agent émulsifiant et moussant dans de nombreux produits alimentaires, pharmaceutiques, cosmétiques et même médicaux. En effet, des études précédentes ont prouvé que la gélatine peut jouer le rôle d'un agent émulsifiant dans les émulsions huile/eau [31]. Les résidus hydrophobes, contenus dans les chaînes peptidiques de la gélatine, sont responsables de ces capacités émulsifiantes et moussantes [32]. Néanmoins, peu de travaux ont rapporté, à ce jour, les pouvoirs émulsifiants et moussants des gélatines d'origine marine.

D'autre part, la gélatine est considérée comme un excellent surfactant, en raison de sa structure amphiphile capable d'exposer, à la fois, des groupements hydrophiles et hydrophobes à l'interface

huile-eau [33]. Les gélatines de poissons génèrent des émulsions, de bonnes qualités, quels que soient la concentration ionique et le pH, mais qui varient en fonction de la structure et la composition de ces protéines [18]. En général, les émulsions, produites par la gélatine des poissons, possèdent une stabilité moyenne.

Les propriétés fonctionnelles, biologiques, thermiques et mécaniques diffèrent d'une gélatine à une autre. Elles sont fonction de la matière première utilisée, de la composition en acides aminés, de la distribution en masse moléculaire, et notamment les conditions d'extraction.

Propriétés thermiques

L'une des principales caractéristiques de la gélatine est sa capacité à former des gels thermoréversibles transparents. Elle se solidifie, une fois refroidie, et fond lorsqu'elle est chauffée (à 37 °C, la température du corps).

Applications et potentialités d'application des gélatines

La gélatine de poisson est adaptable à toutes les applications traditionnelles des gélatines, puisqu'elles possèdent des caractéristiques similaires à celles des gélatines animales. Elles peuvent avantageusement être utilisées, à titre d'ingrédients, dans les domaines alimentaires, pharmaceutiques, photographiques, etc.

Applications alimentaires

La gélatine est un ingrédient traditionnel, largement utilisée dans de nombreuses préparations alimentaires, grâce à sa texture agréable et son caractère fondant, ses qualités moussantes et gélifiantes, à côté de sa solubilité et sa compatibilité avec les sucres et les sirops de glucose, souvent utilisés dans la confiserie. La gélatine est aussi utilisée dans les produits laitiers, les boissons, l'industrie des viandes, etc. La raison principale de son utilisation, en industrie alimentaire, est sa thermo-réversibilité. Les bonbons gélifiés sont parmi les produits qui utilisent habituellement la caractéristique de thermo-réversibilité de la gélatine. L'incorporation de la gélatine, dans les

produits des confiseries gélifiées, permet de donner des formes souples, originales et attrayantes aux consommateurs. Il existe, à titre d'exemple, sur le marché des bonbons halal gélifiés, à base de gélatine de poisson (aromatisé, goût cerise et cola). La gélatine est utilisée en tant que stabilisant dans des émulsions. De plus, cette protéine est un excellent support d'arômes à des concentrations relativement faibles.

L'incorporation de la gélatine, dans les gelées et les émulsions de viande, permet d'attribuer une valeur nutritionnelle et techno-fonctionnelle. Introduite dans les saucissons de viande (salami, jambon), la gélatine améliore le rendement de cuisson et les propriétés texturales de ces produits. De plus, elles peuvent être utilisées pour augmenter la teneur protéique des saucissons de faible valeur nutritionnelle, préparés à base de viande séparée mécaniquement. La gélatine est, également, utilisée dans les industries des jus de fruit, notamment, dans la clarification du jus de pomme. Récemment, nous avons montré que l'ajout de la gélatine de la peau de seiche commune, à raison de 1% dans du saucisson, à base de viande de dinde, séparée mécaniquement, réduit le phénomène d'exsudation d'eau et d'huile, au cours de sa conservation à 4 °C pendant un mois [34].

Applications pharmaceutiques

Dans le domaine pharmaceutique, la gélatine connaît de nombreuses applications, grâce à ses propriétés gélifiantes, à des températures proches de la température ambiante et à son aptitude à former des films homogènes. D'autre part, en tant que produit naturel extrait à partir de matières premières biologiques, la gélatine ne présente pratiquement pas de potentiel allergisant et elle est, par conséquent, bien tolérée.

Gélules et capsules : Dans l'industrie pharmaceutique, la gélatine est l'un des principaux constituants des gélules (employées pour les médicaments liquides) et des capsules (utilisés pour les poudres). Le poids de l'enveloppe des gélules et des capsules des compléments alimentaires peut représenter jusqu'à 26% du poids total du produit fini. La fine enveloppe de gélatine, qui recouvre les gélules et les capsules, assure la cohésion et la

conservation des principes actifs. Elle protège aussi les médicaments des effets néfastes de la lumière, de l'humidité et de l'oxygène. De plus, elle facilite l'administration des médicaments, par voie orale, et masque le goût et l'odeur désagréables de certains ingrédients. Certaines gélules sont conçues à partir de gélatine de poisson d'élevage de haute qualité.

Eponge de gélatine : Les éponges de gélatine sont utilisées en médecine dentaire et en chirurgie. Elles ont un effet hémostatique et sont entièrement absorbées par le tissu corporel, au cours de la cicatrisation. Elles se caractérisent par une forte capacité d'absorption du sang et des exsudats. La gélatine servira de pansements, et notamment de matrice pour la diffusion lente des principaux actifs, incorporés dans son réseau protéique, permettant ainsi une meilleure cicatrisation des plaies d'excision [35].

Il existe de nombreux produits cicatrisants, dont l'efficacité est largement reconnue, mais il y a parfois des échecs thérapeutiques. Le principal inconvénient de l'utilisation des compresses traditionnelles (polyester et/ou coton), en dépit de leur faible coût, est l'obligation de les changer fréquemment, pour préserver les tissus en cours de régénération [36].

Ces bio-pansements possèdent l'avantage d'être biocompatibles, biodégradables, et dans certains cas, additionnés par des agents antibactériens, antioxydants ou bien des facteurs de croissance.

La gélatine est parmi les hydrocolloïdes les plus étudiés, en raison de sa disponibilité et de son prix qui devient très compétitif. L'utilisation des films de gélatine, comme pansements, additionnés par des facteurs de croissances épithéliales, a été étudiée par Tanaka *et al.* [37]. Les films de gélatine montrent leurs effets potentiels sur l'accélération du processus de la cicatrisation, plus particulièrement, sur la croissance des cellules épithéliales et kératinocytaires. D'autre part, l'utilisation de la gélatine, comme un hydrogel de pansement, pourrait jouer le rôle d'un support pour la prolifération cellulaire, et agir comme un substitut pour le derme [38].

Gélatine et médecine d'urgence : La gélatine est également utilisée en médecine d'urgence dans les liquides de remplissage vasculaire pour stabiliser ou augmenter le volume du sang circulant.

Microcapsules de vitamine : La gélatine est égale

ment utilisée dans la production de comprimés effervescents de vitamine. Pour assurer une meilleure conservation et protection vis-à-vis de l'oxygène et de la lumière, les vitamines A et E sont encapsulées par des microcapsules à base de gélatine.

Industrie photographique

Les produits photographiques à base de sel d'argent sont constitués de plusieurs couches de gélatine (jusqu'à 15), qui sont coulées sur film ou sur papier. La gélatine est utilisée, comme liant, pour les sels d'argent, hautement photosensibles. Les gélatines photographiques sont de type B, obtenues par traitement alcalin.

Application dans le développement d'emballages comestibles actifs pour la conservation des produits agro-alimentaires

Un emballage comestible est un enrobage (couche mince protectrice), ou film à base de biopolymères naturels (tels que les polysaccharides (cellulose et dérivés, amidon et dérivés, chitine et chitosane, etc.), les protéines (caséine, gélatine, etc.), les polyesters.) qui possède des propriétés sélectives ou actives vis-à-vis des transferts. Il fait partie intégrante de l'aliment et peut être consommé comme tel. La gélatine est un excellent agent filmogène et constitue, donc, un biopolymère de choix et une alternative intéressante, pour le développement d'enrobages et de films comestibles.

L'enrobage est un procédé industriel qui consiste à appliquer, par immersion ou pulvérisation, une couche de biopolymère naturel (comprise entre 7 et 10 μ) sur la surface de l'aliment, afin de lui conférer son aspect final et des propriétés particulières. Cet enrobage est naturel et reste invisible après gélification.

Le rôle des emballages comestibles ne se limite pas, uniquement, à l'effet barrière contre l'eau et l'air entre l'aliment et le milieu extérieur, mais participe, également de manière active, à maintenir sa fraîcheur et à augmenter la durée de vie de certains produits agro-alimentaires. D'autre part, les propriétés biologiques des emballages peuvent être améliorées, par ajout de composés actifs naturels qui confèrent aux emballages des proprié-

tés antioxydantes et/ou antimicrobiennes. L'utilisation de ces enrobages serait un atout pour réduire le gaspillage alimentaire. Toutefois, l'efficacité de ce système de conditionnement dépend de plusieurs facteurs, tels que la composition des aliments, les caractéristiques physicochimiques des bio-polymères et des additifs (tels que les antioxydants, le plastifiant) utilisés, et des conditions de préparation.

Plusieurs études ont montré que l'utilisation de la gélatine, sous forme de film ou gel d'enrobage, permet de prolonger la durée de vie des fruits, des légumes et d'autres aliments. Dans ce cadre, Gomez-Guillen & Montero [29] ont montré que l'application de films de gélatine, additionnés d'extraits phénoliques, doués de propriétés antioxydantes, sur la surface de poissons salés ou fumés, augmente la durée de conservation des produits par la réduction de l'oxydation des lipides, durant le stockage à l'état réfrigéré. Plus récemment, Wu *et al.* [25] ont rapporté que l'enrobage de la chair des poissons, par une solution filmogène de gélatine, extraite à partir de la peau du carpe (*Hypophthalmichthys molitrix*), réduit la contamination microbienne et prolonge sa durée de conservation. De même, la durée de conservation de la viande a été prolongée, par l'application du film de gélatine enrichi par des huiles essentielles, possédant des propriétés antimicrobienne et antioxydante [25].

Généralement, le film de gélatine marine possède de bonnes propriétés barrières aux gaz et à la vapeur [39], de bonnes propriétés mécaniques et des pouvoirs antioxydants [18]. Toutefois, les films de gélatine de poissons sont caractérisés par une faible élasticité. Le tableau IV présente quelques études qui ont été focalisées sur la préparation de films d'emballage à partir de différentes gélatines marines [39-44].

Les propriétés barrières et/ou biologiques des films peuvent être améliorées par l'utilisation de mélanges de polymères. Le Tableau V montre des exemples de films composites contenant de la gélatine en combinaison avec d'autres polymères [9,25,43,45-52].

Des films composites, à base de gélatine de la peau de seiche et de chitosane à différents ratios, ont été préparés [45]. Les films de gélatine, contenant le chitosane, possèdent une meilleure résistance à la rupture et s'allongent moins que ceux préparés

Tableau IV. Gélatines marines utilisées dans la préparation de films biodégradables

Source de gélatine	Plastifiant	Références
Seiche (<i>S. officinalis</i>)	Glycérol	[40]
Moru, Aiglefin.	Glycérol	[41]
Tilapia	Glycérol	[42]
Seiche (<i>Sepia pharaonis</i>)	Glycérol	[43]
Vivaneau rouge	Glycérol	[44]
Calamar	GlycérolSorbitol	[18]
Colin d'Alaska	-	[39]

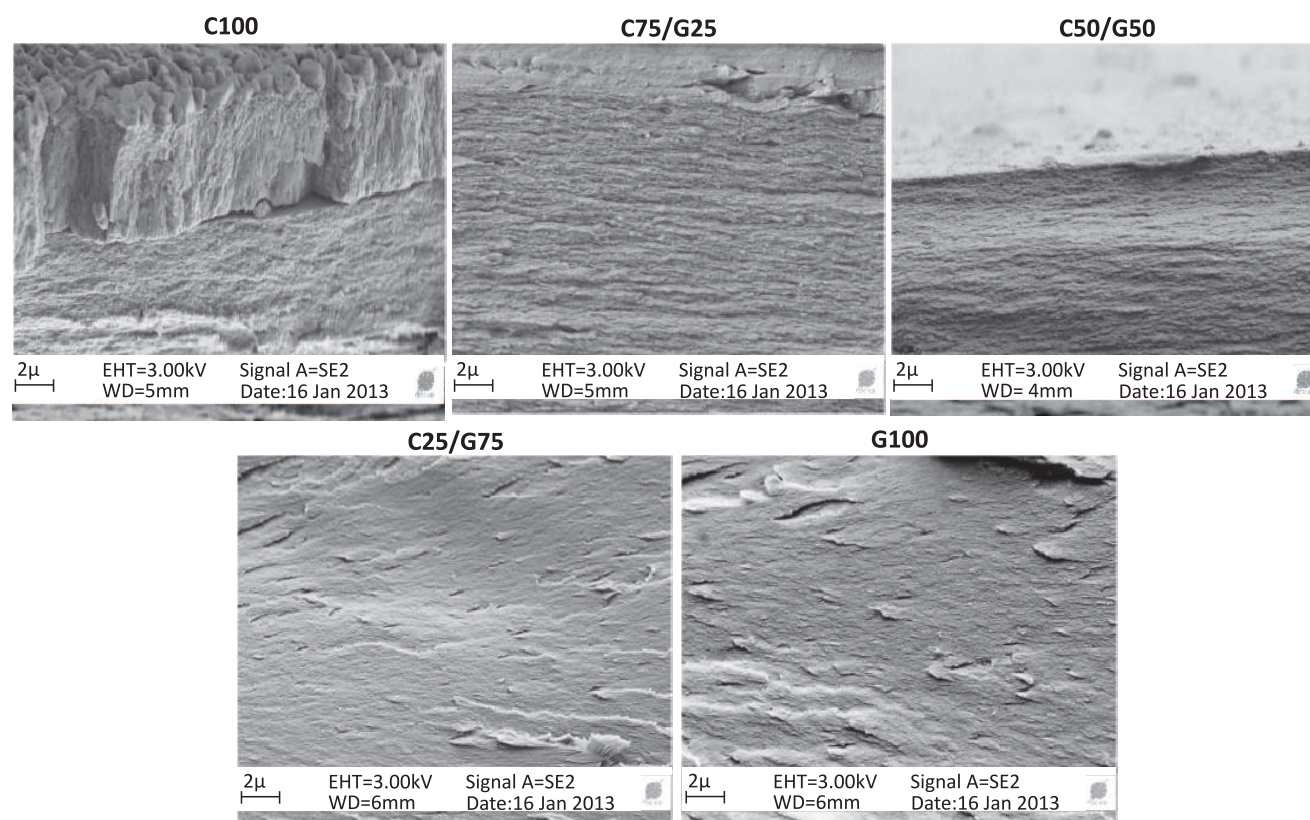
par la gélatine seule. De plus, l'ajout du chitosane, à 25% ou 50% dans la solution filmogène de la gélatine, a permis d'améliorer les performances physico-chimiques des films de gélatine, sans affecter les propriétés antimicrobiennes du chitosane ou l'effet antioxydant de la gélatine.

Les micrographes électroniques des coupes transversales des films composites, présentés sur la Fig. 2, montrent une structure compacte et homogène, avec l'absence des espaces vides. Ceci

Tableau V. Films composites préparés à partir de gélatines marines et d'autres copolymères

Source de gélatine	Plastifiants	Copolymères	Références
Seiche (<i>S. officinalis</i>)	Glycérol	Chitosane	[45]
Carpe	Glycérol	Chitosane	[25]
Colin d'Alaska	-	Chitosane	[46]
Thon	Glycérol et sorbitol	Chitosane	[9]
Morue, Aiglefin	Glycérol et sorbitol	Ligno-sulfonate	[47]
Gélatine de poisson commerciale	Glycérol et sorbitol	Lignine	[48]
Seiche (<i>S. pharaonis</i>)	Glycérol	Protéine de <i>P. aureus</i>	[43]
Morue	Glycérol	Protéine de Soja	[49]
Tilapia	-	α -carragheenane	[50]
Requin	Glycérol	Acide oléique	[51]
Morue	Glycérol et sorbitol	Huile du tournesol	[52]

confirme que le chitosane et la gélatine, utilisés pour la préparation des films biodégradables, sont complètement miscibles, quel que soit le rapport gélatine/chitosane utilisé.

**Fig. 2. Observation par microscopie électronique à balayage des coupes de films composites gélatine/chitosane [40].**

C100 : chitosane 100% ; C75/G25 : chitosane 75%/gélatine 25% ; C50/G50 : chitosane 50%/gélatine 50% ; C25/G75 : chitosane 25%/gélatine 75% ; G100 : gélatine 100%.

Tableau VI. Hydrolysats de gélatine

Espèces	Préparation enzymatique	Activité biologique	Références
Tilapia	Extrait protéolytique à partir du latex du papayer (<i>Carica papaya</i>)	Antioxydante	[57]
Seiche (<i>S.officinalis</i>)	Alcalase commerciale Protéases bactériennes(<i>Bacillus</i>)	Antioxydante	[58]
Saumon Pacifique(<i>Oncorhynchus keta</i>)	Deux protéases commerciales (Papaine et Neutrase)	Anti-tumorale	[59]
Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Deux enzymes commerciales (Propérase E et Multifect Neutral)	Antioxydante	[60]
Calmar (<i>Dosidicus eschrichtii</i>)	Pepsine commerciale	Antioxydante	[61]
Encornet géant (tuniques interne et externe) (<i>Dosidicus gigas</i>)	Sept protéases commerciales (Protamex, Trypsine, Neutrase, Savinase, NS37005, Espérase et Alcalase)	Antioxydante	[62]
Bigeye snapper (<i>Priacanthus macracanthus</i>)	Extrait protéolytique à partir du cæcum pyrolique de l'Alcalase, du <i>P. macracanthus</i> et du Neutrase	Antioxydante	[63]
Sole et calmar	Alcalase commerciale	Antioxydante	[18]
Encornet géant (<i>Dosidicus gigas</i>)	Alcalase commerciale	Antioxydante	[19]
Raie bouclée	Protéases de <i>Bacillus subtilis</i> A26 et Neutrase	Antioxydante et anti-ECA	[55]

Hydrolysats de gélatine marine : mise en évidence des activités biologiques

L'hydrolyse enzymatique, appliquée aux produits et co-produits marins, riches en protéines, constitue l'une des voies de valorisation de ces ressources, permettant l'obtention de nouvelles molécules bioactives.

Plusieurs travaux ont rapporté que ces produits d'hydrolyse possèdent diverses propriétés technofonctionnelles [53] (notamment la solubilité, les pouvoirs émulsifiant et moussant), à côté de leurs activités biologiques (antioxydante [54,55] et antihypertensive [56]).

La gélatine, suite à son hydrolyse par certaines enzymes protéolytiques, donne naissance à des hydrolysats, ayant des activités biologiques intéressantes. Le tableau VI, illustre quelques exemples d'hydrolysats de gélatine marine [55, 57-63].

Dans ce contexte, Alemán *et al.* [62] ont préparé des hydrolysats à partir des gélatines extraites des peaux de calmar (*Dosidicus gigas*), thon (*Thunnus spp*) et flétan (*Hypoglossus spp*), en utilisant des protéases bactériennes. Ces hydrolysats possèdent des activités antioxydantes intéressantes. Plus récemment, Jridi *et al.* [58] ont préparé plusieurs types d'hydrolysats de gélatine de la

peau de seiche, utilisant différentes préparations enzymatiques bactériennes. Tous les hydrolysats ont manifesté différents degrés d'activités antioxydantes. De plus, ces hydrolysats se trouvent stables dans une large gamme de pH (1,0 à 9,0), suite à un traitement thermique (100 °C pendant 240 min) et à une simulation de la digestion gastro-intestinale. L'incorporation de l'hydrolysat de gélatine, obtenue, par l'Alcalase dans la formulation du saucisson de dinde, à raison de 0,5 g/100 g de saucisson, a permis de ralentir les réactions d'oxydation et de réduire la flore d'altération, assurant ainsi une meilleure conservation.

Les activités biologiques, détectées dans les produits d'hydrolyse de la gélatine, résultent de la présence de peptides bioactifs, appelés biopeptides. Les peptides actifs sont des fragments de protéines, ayant une taille comprise entre 3 et 20. Ces peptides peuvent se comporter comme des modulateurs potentiels de divers processus biologiques. Dans ce contexte, Kim *et al.* [64] ont purifié deux peptides, doués d'une forte activité antioxydante, à partir d'hydrolysat de la gélatine de peau de colin d'Alaska. Les deux peptides renferment un résidu Gly à l'extrémité C-terminale et le motif répétitif Gly-Pro-Hyp. La capacité des hydrolysats des gélatines des peaux de Tilapia, à

exercer un pouvoir antiradicalaire, a été reportée par Vo *et al.* [65].

Récemment, Lassoued *et al.* [55] ont mis en évidence, dans les hydrolysats protéiques de la raie bouclée, obtenus par les enzymes de *Bacillus subtilis* A26 et la Neutrase, des activités antioxydante et anti-ECA (enzyme de conversion de l'angiotensine, impliquée dans la régulation du système rénine-angiotensine-aldostérone). Après fractionnement par chromatographie gel filtration G-25 et RP-HPLC sur colonne C18, et en utilisant une étude peptidomique, des dizaines de peptides ont été identifiés dans les sous-fractions les plus actives, dont quelques uns ont été retenus, comme potentiellement actifs et leur activité a été confirmée *in vitro*, suite à leur synthèse chimique (Tableau VII).

Tableau VII. CI_{50} des peptides synthétiques de la raie bouclée [55].

Peptide	CI_{50} (μM)
APGAP	170,28
GEPGAPGPA	4200,49
GPRGAPGPA	> 6000
APGAP + GEPGAPGPA + GPRGAPGPA	137,72
FGYGG	230,69
IGPAG	2754,22
GIPGAP	27,90
IGAPGATGPAG	1256,02
GEAGNPGPAGP	4425,88
MRG	40,80

Le peptide GIPGAP possédant un résidu proline à l'extrémité C-terminale exerce l'activité anti-ECA la plus élevée. Ceci est en parfaite corrélation avec la littérature, qui décrit que les peptides, ayant une forte inhibition de l'ECA, contiennent un résidu Pro ou des acides aminés aromatiques (Trp, Tyr, Phe) au niveau de leur extrémité C-terminale.

Conclusion

La demande croissante en gélatine encourage la voie de recherche et d'exploration de la gélatine marine, comme une alternative pour la gélatine de mammifère. La gélatine de poisson possède les mêmes propriétés que les gélatines animales. Elle est donc polyvalente et est adaptable à toutes les applications traditionnelles de la gélatine. D'ailleurs, plusieurs types de gélatines, issus des

peaux de poisson traitées par voie acide, sont actuellement commercialisés. Comme les bonnes pratiques de fabrication (BPF) et l'analyse des risques et la maîtrise des points critiques (HACCP) représentent les points clés dans la fabrication des aliments, la recherche future doit être orientée vers le développement de procédés, permettant d'améliorer la qualité des gélatines obtenues, à partir des peaux de poisson, notamment, celles à usage pharmaceutique et alimentaire.

Les travaux en cours portent également sur l'utilisation de la gélatine de poisson, en tant qu'ingrédient ou bio-polymère, pour le développement de nouveaux enrobages protecteurs comestibles actifs, avec des propriétés antimicrobienne et antioxydante. Ces derniers lui acquièrent un excellent pouvoir de conservation des produits agro-alimentaires, tels que les viandes fraîches et les fruits frais coupés. Toutefois, pour toute application alimentaire et pharmaceutique, il faut s'assurer de l'innocuité des composants (polymères et additifs), utilisés dans la fabrication de l'enrobage ou de films comestibles.

D'autre part, étant donné que les hydrolysats de gélatines de poissons sont des sources potentielles de peptides biologiquement actifs, ils pourraient être appliqués dans le secteur de la santé et des nutraceutiques, en tant que « Supplément Nutritionnel » pour le traitement et/ou la prévention de l'hypertension et des maladies cardiovasculaires.

Conflit d'intérêts

Aucun

Références

1. GME. Gelatin Manufacturers of Europe; 2008 <http://www.gelatine.org/en/gelatine/overview/127.htm>. Accessed 18.01.2015.
2. Arnesen JA., Gildberg A. Preparation and characterisation of gelatine from the skin of harp seal (*Phoca groenlandica*). *Bioresour Technol* 2002; 82: 191-4.
3. Norland RE. Fish gelatin. In: Voight MN Botta JK. editors. *Advances in fisheries technology*

- and biotechnology for increased profitability. Lancaster Pa: Technomic Publishing Co; 1990, p. 325-32.
4. Kolodziejska I., Kaczorowski K., Piotrowska B., Sadowska, M. Modification of the properties of gelatin from skins of Baltic cod (*Gadus morhua*) with transglutaminase. *Food Chem* 2004; 86: 203-9.
 5. Muyonga JH., Cole CGB., Duodu KG. Extraction and physico-chemical characterisation of Nile perch (*Lates niloticus*) skin and bone gelatin. *Food Hydrocoll* 2004; 18: 581-92.
 6. Cho SM., Gu YS., Kim SB. Extraction optimization and physical properties of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) skin gelatine compared to mammalian gelatins. *Food Hydrocoll* 2005; 19: 221-9.
 7. Cheow CS., Norizah MS., Kyaw ZY., Howell NK. Preparation and characterisation of gelatins from the skins of sin croaker (*Johnius dussumieri*) and shortfin scad (*Decapterus macrochoma*). *Food Chem* 2007; 101: 386-91.
 8. Liu H., Li D., Guo S. Rheological properties of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) gelatine from fish skins preserved by different methods. *LWT-Food Sci Technol* 2008; 41: 1425-30.
 9. Gómez-Estaca J., Gómez-Guillén MC., Fernández-Martín F., Montero P. Effects of gelatin origin bovine-hide and tuna-skin on the properties of compound gelatin-chitosan films. *Food Hydrocoll* 2011; 25: 1461-9.
 10. Uriarte-Montoya MH., Santacruz-Ortega H., Cinco-Moroyoqui FJ. Rouzaud-Sández O., Plascencia-Jatomea M., Ezquerro-Brauer JM. Giant squid skin gelatin: Chemical composition and biophysical characterization. *Food Res Int* 2011; 44: 3243-9.
 11. Jellouli K., Balti R., Bougatef A., Hmidet N., Barkia A., Nasri M. Chemical composition and characteristics of skin gelatin from grey triggerfish (*Balistes capriscus*). *LWT-Food Sci Technol* 2011; 44: 1965-70.
 12. Ktari N., Jridi M., Nasri R., Lassoued I., Ben Ayed H., Barkia A. *et al.* Characteristics and functional properties of gelatin from zebra blenny (*Salaria basilisca*) skin. *LWT-Food Sci Technol* 2014; 58: 602-8.
 13. Lassoued I., Jridi M., Nasri R., Dammak A., Hajji M., Nasri M. *et al.* Characteristics and functional properties of gelatin from thornback ray skin obtained by pepsin-aided process in comparison with commercial halal bovine gelatin. *Food Hydrocoll* 2014; 41: 309-18.
 14. Jridi M., Nasri R., Lassoued I., Barkia A., Nasri M., Souissi N. Chemical and biophysical properties of gelatins extracted from the skin of Octopus (*Octopus vulgaris*). *LWT-Food Sci Technol* 2015; 60: 881-9.
 15. Jridi., M Nasri R., Lassoued I., Souissi N., Mbarek A., Barkia A. *et al.* Chemical and biophysical properties of gelatins extracted from alkali-pretreated skin of cuttlefish (*Sepia officinalis*) using pepsin. *Food Res Int* 54 2013; 1680-7.
 16. Gómez-Guillén MC., Giménez B., López-Caballero ME. Montero MP. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocoll* 25 2011; 1813-27.
 17. Jongjareonrak A., Benjakul S., Visessanguan W., Prodpran T., Tanaka M. Characterization of edible films from skin gelatin of brownstripe red snapper and bigeye snapper. *Food Hydrocoll* 2006; 20: 492-501.
 18. Gimenez B., Gomez-Estaca J., Alemán A., Gomez-Guillen MC., Montero P. Physicochemical and film forming properties of giant squid (*Dosidicus gigas*) gelatin. *Food Hydrocoll* 2009; 23: 585-92.
 19. Gimenez B., Gomez-Estaca J., Alemán A., Gomez-Guillen MC., Montero., MP. Improvement of the antioxidant properties of squid skin gelatin films by the addition of hydrolysates from squid gelatin. *Food Hydrocoll* 2009; 23: 1322-7.
 20. Nalinanon S., Benjakul S., Visessanguan W., Kishimura H. Improvement of gelatin extraction from bigeye snapper skin using pepsin-aided process in combination with protease inhibitor. *Food Hydrocoll* 2008; 22: 615-22.
 21. Nikoo M., Benjakul S., Bashari M., Alekhorshied M., Cissouma A.I., Yang N, *et al.* Physicochemical properties of skin gelatin from farmed Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) as influenced by acid pretreatment. *Food Biosci* 2014; 5: 19-26.
 22. Silva RSG., Bandeira SF., Pinto LAA. Characteristics and chemical composition of skins gelatin from cobia (*Rachycentron canadum*). *LWT-*

- Food Sci Technol* 2014; 57: 580-5.
23. Temdee W., Benjakul S. Effect of oxidized kiam wood and cashew bark extracts on gel properties of gelatin from cuttlefish skins. *Food Biosci* 2014; 7: 95-104.
 24. Weng W., Zheng H., Su W. Characterization of edible films based on tilapia (*Tilapia zillii*) scale gelatin with different extraction pH. *Food Hydrocoll* 2014; 41: 19-26.
 25. Wu J., Ge S., Liu H., Wang S., Chen S., Wang J. *et al.* Properties and antimicrobial activity of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin gelatin-chitosan films incorporated with oregano essential oil for fish preservation. *Food Packaging Shelf Life* 2014; 23: 1-10
 26. Himaya SWA., Ngo DH., Ryu BM., Kim SK. An active peptide purified from gastrointestinal enzyme hydrolysate of Pacific cod skin gelatin attenuates angiotensin-1 converting enzyme (ACE) activity and cellular oxidative stress. *Food Chem* 2012; 132: 1872-82.
 27. Kasankala LM., Xue Y., Weilong Y., Hong SD., He Q. Optimization of gelatine extraction from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fish skin by response surface methodology. *Bioresour Technol* 2007; 98: 3338-43.
 28. Cho SM., Kwak KS., Park DC., Gu YS., Ji CI., Jang DH. *et al.* Processing optimization and functional properties of gelatin from shark (*Isurus oxyrinchus*) cartilage. *Food Hydrocoll* 2004; 18: 573-579.
 29. Gómez-Guillén MC., Montero P. Extraction of gelatin from megrim (*Lepidorhombus boscii*) skins with several organic acids. *J Food Sci* 2001; 66: 213-6.
 30. Nagarajan M., Benjakul S., Prodpran T., Songtipya P. Properties of film from splendid squid (*Loligo formosana*) skin gelatin with various extraction temperatures. *Int J Biol Macromol* 2012; 51: 489-96.
 31. Lobo L. Coalescence during emulsification 3. Effect of gelatin on rupture and coalescence. *J Colloid Interface Sci* 2002; 254: 165-74.
 32. Cole CGB. Gelatin. In F.J. Francis (Ed), *Encyclopedia of food science and technology*. 2000; pp: 1183-1188 New York: Wiley.
 33. Shahidi F., Xiao-Qing H., Synowiecki J. Production and characteristics of protein hydrolysates from capelin (*Mallotus villosus*). *Food Chem* 1995; 53: 285-93.
 34. Jridi M., Souissi N., Ayedi MA., Nasri M. Improvement of the physicochemical textural and sensory properties of meat sausage by edible cuttlefish gelatin addition. *Food Biosci* 2015; 12: 67-72.
 35. Jones VJ. The use of gauze: Will it ever change? *Int Wound J* 2006; 3: 79-86.
 36. Wickett R., Visscher MO. Structure and function of the epidermal barrier. *J Infect Control* 2006; 34: 98-110.
 37. Tanaka A., Nagate T., Matsuda H. Acceleration of wound healing by Gelatin film Dressings with Epidermal Growth Factor. *J Vet Med Sci* 2005; 67: 900-13.
 38. Ulubayram K., Nur Cakar A., Korkusuz P., Ertan C., Hasirci N. EGF containing gelatin-based wound dressings. *J Biomaterials* 2001; 22: 1345-56.
 39. Chiou BS., Avena-Bustillos RJ., Bechtel PJ., Imam SH., Glenn G., M., Orts WJ. Effects of drying temperature on barrier and mechanical properties of cold-water fish gelatin films. *J Food Eng* 2009; 95: 327-31.
 40. Jridi M., Souissi N., Mbarek A., Chadeyron G., Kammoun M., Nasri M. Comparative study of physico-mechanical and antioxidant properties of edible gelatin films from the skin of cuttlefish. *Int J Biol Macromol* 2013; 61: 17-25.
 41. Krishna M., Nindo CI., Min SC. Development of fish gelatin edible films using extrusion and compression molding. *J Food Eng* 2012; 108: 337-44.
 42. Nur Hanani ZA., Roos YH., Kerry JP. Use of beef pork and fish gelatin sources in the manufacture of films and assessment of their composition and mechanical properties. *Food Hydrocoll* 2012; 29: 144-51.
 43. Hoque MS., Benjakul S., Prodpran T. Effects of partial hydrolysis and plasticizer content on the properties of film from cuttlefish (*Sepia pharaonis*) skin gelatin. *Food Hydrocoll* 2011; 25: 82-90.
 44. Rattaya S., Benjakul S., Prodpran T. Properties of fish skin gelatin film incorporated with seaweed extract. *J Food Eng* 2009; 95: 151-7.
 45. Jridi M., Hajji S., Ben Ayed H., Lassoued I., Mbarek A., Kammoun M. *et al.* Physical structural antioxidant and antimicrobial properties of gelatin-chitosan composite edible films. *Int J Biol Macromol* 2014; 67 373-9.

46. Liu Z., Ge X., Lu Y., Dong S., Zhao Y., Zeng M. Effects of chitosan molecular weight and degree of deacetylation on the properties of gelatine-based films. *Food Hydrocoll* 2012; 26: 311-7.
47. Núñez-Flores R., Giménez B., Fernández-Martín F., López-Caballero ME., Montero MP., Gómez-Guillén MC. Role of lignosulphonate in properties of fish gelatin films. *Food Hydrocoll* 2012; 27: 60-71.
48. Ojagh SM., Núñez-Flores R., López-Caballero ME., Montero MP., Gómez-Guillén MC. Lessening of high-pressure-induced changes in Atlantic salmon muscle by the combined use of a fish gelatin-lignin film. *Food Chem* 2011; 125: 595-606.
49. Guerrero P., Beatty E., Kerry JP., de la Caba K. Extrusion of soy protein with gelatin and sugars at low moisture content. *J Food Eng* 2012; 110: 53-9.
50. Pranoto Y., Lee CM., Park HJ. Characterizations of fish gelatin films added with gellan and k-carrageenan. *LWT-Food Sci Technol* 2007; 40: 766-74
51. Limpisophon K., Tanaka M., Osako K. Characterisation of gelatin-fatty acid emulsion films based on blue shark (*Prionace glauca*) skin gelatin. *Food Chem* 2010; 122: 1095-101.
52. Pérez-Mateos M., Montero P., Gómez-Guillén MC. Formulation and stability of biodegradable films made from cod gelatin and sunflower oil blends. *Food Hydrocoll* 2009; 22: 53-61.
53. Chobert JM., Bertrand-Harb C., Nicolus MG. Solubility and emulsifying properties of caseins and whey proteins modified enzymatically by trypsin. *J Agric Food Chem* 1988; 36: 883-92.
54. Kim S., Mendis E. Bioactive compounds from marine processing by-products-a review. *Food Res Int* 2006; 39: 383-93.
55. Lassoued I., Mora L., Barkia A., Aristory MC., Nasri M., Toldra F. Bioactive peptides identified in thornback ray skin's gelatin hydrolysates by proteases from *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens*. *J Proteomics* 2015; 128: 8-17.
56. Ngo DH., Ryu B., Kim SK. Active peptides from skate (*Okamejei kenojei*) skin gelatin diminish angiotensin-I converting enzyme activity and intracellular free radical-mediated oxidation. *Food Chem* 2014; 143: 246-55.
57. Karnjanapratum S., Benjakul S. Glycyl endopeptidase from papaya latex: Partial purification and use for production of fish gelatin hydrolysate. *Food Chem* 2014; 165, 403-11.
58. Jridi M., Lassoued I., Nasri R., Ayedi MA., Nasri M., Souissi N. Characterization and potential use of cuttlefish skin gelatin hydrolysates prepared by different microbial proteases. *Biomed Res Int* 2014; Article ID 461728 <http://dx.doi.org/10.1155/2014/461728>.
59. Fu Y., Zhao XH. *In vitro* responses of hFOB1.19 cells towards chum salmon (*Oncorhynchus keta*) skin gelatin hydrolysates in cell proliferation cycle progression and apoptosis. *J Funct Food* 2013; 5: 279-88.
60. Zhang Y., Duan X., Zhuan Y. Purification and characterization of novel antioxidant peptides from enzymatic hydrolysates of tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin gelatin. *Peptides* 2012; 38: 13-21.
61. Lin L., Li BF. Radical scavenging properties of protein hydrolysates from Jumbo flying squid (*Dosidicus eschrichtii Steenstrup*) skin gelatin. *J Sci Food Agric* 2006; 86: 2290-5.
62. Alemán A., Giménez B., Montero P., Gómez-Guillén MC. Antioxidant activity of several marine skin gelatins. *LWT-Food Sci Technol* 2011; 44: 407-13.
63. Phanturat P., Benjakul S., Visessanguan W., Roytrakul S. Use of pyloric caeca extract from bigeye snapper (*Priacanthus macracanthus*) for the production of gelatin hydrolysate with antioxidative activity. *LWT-Food Sci Technol* 2010; 43: 86-97.
64. Kim SK., Kim YT., Byun HG., Nam KS., Joo DS., Shahid F. Isolation and characterization of antioxidative peptides from gelatin hydrolysate of Alaska pollack skin. *J Agric Food Chem* 2001; 49: 1984-9.
65. Vo TS., Ngo DH., Kim JA., Ryu B., Kim SK. An antihypertensive peptide from tilapia gelatin diminishes free radical formation in murine microglial cells. *J Agric Food Chem* 2011; 59: 12193-7.



Le point sur

Mondialisation, Agro-industries, Globalisation des Modes alimentaires et Nouveaux Enjeux Sanitaires: L'Agriculture Biologique, peut-elle être, une solution du problème

Globalization, Agri-industries, Food Globalization and sanitary New Challenges: Organic Agriculture, can it be a solution of problem

HASSINI TSAKI*

Laboratoire d'Ecopédologie. Université d'Oran1 Ahmed Ben Bella. Algérie

Reçu le 12 avril 2016, Révisé le 11 juin 2016, Accepté le 13 juin 2016.

*Auteur correspondant : hassinit30@yahoo.fr

Mots clés : *Mondialisation, Agriculture biologique, Agro-industrie, Phytosanitaires, Enjeux sanitaires*

Introduction

Les nutritionnistes, épidémiologistes, chercheurs de biologie, médecins, agrobiologistes et autres compétences de vocations connexes demeurent, aujourd'hui et pour une plus juste définition et diagnostic de ces phénomènes liés à la nutrition et santé publique, dans la nécessité d'une meilleure approche d'intégration des informations, de privilégier l'établissement d'une synthèse collégiale sur les différents aspects d'incidences de nos nouveaux modes alimentaires en relation avec les nombreuses et nouvelles maladies chroniques en développement dans nos sociétés modernes (obésité, maladies cardio-vasculaires, diabète, hypertension artérielle, cancers, etc..).

C'est Hippocrate (460 Av. JC – 370 Av. JC) et Ibn Rochd (Averroès pour les Latins, 1126 - 1198) qui prodiguaient à leurs malades : " Que ton aliment soit ta médecine", agissant ainsi directement sur les causes des pathologies et des dysfonctionnements physio-métaboliques qui en sont le plus souvent responsables que sur les symptômes même. Ils privilégiaient ainsi le diagnostic du nutritionniste à l'alchimie du pharmacien et aux drogues du chimiste. Mais, il est vrai, avant d'être médecins, ces inoubliables braves personnages étaient philosophes, mathématiciens, juristes, poètes, et surtout Savants. Pas de ces diplômés indigents qui sont pléthore aujourd'hui et qui manquent affreusement et irrémédiablement de véritable vocation à soigner parce que "formatés" essentiellement par la Carotte et le relatif statut social...

Données statistiques et causes alimentaires dans la fréquence constatée des maladies

S'il est souvent admis que par gourmandise "l'homme creuse sa tombe avec ses dents", on sait par des études épidémiologiques réalisées par un collège de cancérologues (Pr. D. Belpomme, Dr. R. Béliveau et Pr. D. Servan Schreiber) et publiées par l'Institut Français de Veille Sanitaire que le Cancer, cette pathologie en si forte fréquence et évolution de nos jours, ne tombe pas du ciel, mais vient pour une grande part de nos assiettes, c'est-à-dire de ce que nous mangeons et buvons. En un mot de notre nouveau mode d'alimentation ainsi que de la qualité suspecte ou corrompue des produits alimentaires et boissons qui nous sont proposés par un marché, aujourd'hui, largement globalisé.

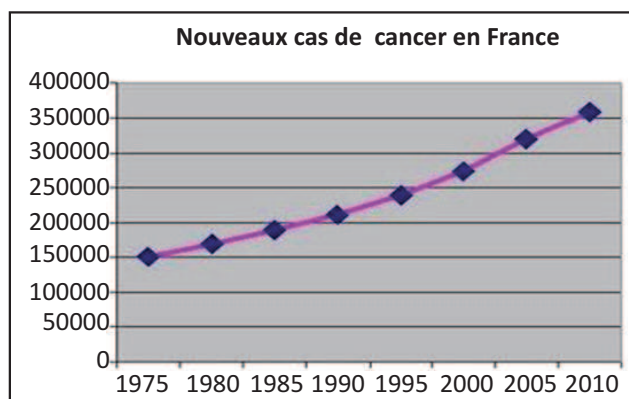


Fig. 1. Courbe de l'évolution des maladies cancéreuses en France [1-2]

Alors que la population française n'a augmenté que de 16 %, les maladies cancéreuses ont augmenté de 50 % d'après Belpomme, Beliveau, Servan Schreiber, INVS, France, cité par l'Etude Agorax [1-2]

Comment sommes-nous arrivés là ? Et, qui sont responsables de ces dysfonctionnements ?

La première question nous renvoie à la genèse et succession de ces deux Révolutions vertes qui, à chaque fois, ont vanté et promis l'essor de la paysannerie, la modernisation et le progrès des sociétés rurales, par l'augmentation conséquente des productions agricoles avec une certaine prétention lénifiante de vaincre le spectre de la faim, dans le pays et ... voire, même, dans le monde!

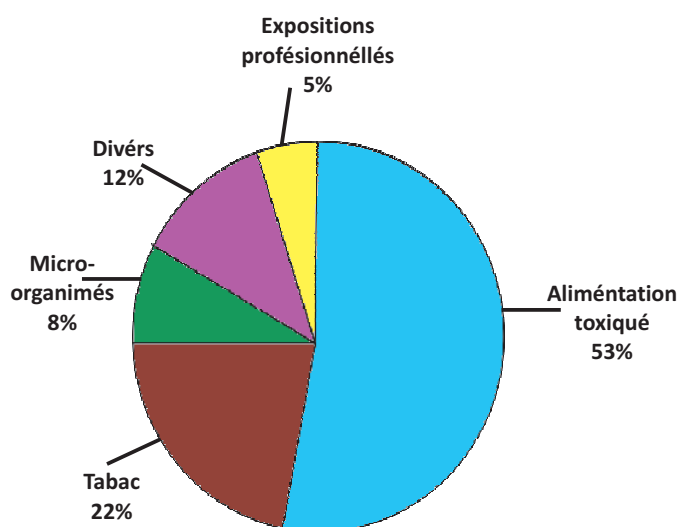


Fig. 2. Parmi les causes premières à l'origine des pathologies cancéreuses figurent les résidus de pesticides, des phytosanitaires et autres intrants chimiques agricoles ou alimentaires [1-2]

La première vague de la Révolution Verte, entamée après la seconde guerre mondiale dans les pays industrialisés puis étendue au monde, a consisté en d'importants programmes de modernisation et de promotion des productions agricoles, sous les impulsions de l'utilisation accrue des engrais et phytosanitaires et à grands renforts de mécanisation. Certes, les rendements évalués malheureusement et toujours en termes, seulement, de quantités (et non pas en termes de qualité !) ont bien été améliorés. Mais il fallait, désormais, prendre en compte les coûts de ces intrants, les remboursements des traites de ces produits agro-chimiques, de plus en plus coûteux et les dépenses de ce suremploi souvent de matériels agricoles qui a permis de mécaniser, à outrance, les activités agricoles et d'élevage et de se libérer de la main-d'œuvre agricole... Beaucoup de producteurs se sont retrouvés endettés et dans la difficulté de faire face aux remboursements des prêts. Et ce, pour ne pas dire, jetés à la faillite puis chassés de leurs exploitations et campagnes. Après la mise en exode vers les villes des ouvriers et de la main d'œuvre agricole traditionnelle, est venu le tour des petits exploitants agricoles. Sont concernés 16 % des terres en 1972 et plus de 50 % des terres en 1985, avec une consommation totale actuelle de 180 Milliards de kg/an, soit l'équivalent de quelques 22 kg/an par habitant de la Terre [3].

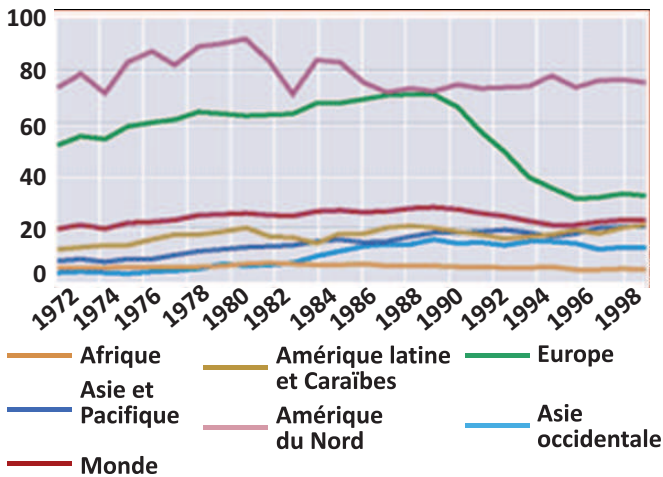


Fig. 3. Les courbes des évolutions par groupe de pays de l'utilisation des engrais et intrants chimiques dans le monde [3]

La 1^{ère} Révolution verte n'a profité ni aux populations rurales, ni à l'amélioration de leur niveau social ; ni à leur maintien sur leurs terres, puisque des millions d'entre eux n'ont connu que le triste chemin du déracinement puis de l'exode vers les villes et leurs banlieues pauvres ; ni à vaincre la faim, ni dans le pays concerné, ni dans le monde ; ni à la conservation de la biodiversité, ni à celle de l'environnement et de ses ressources naturelles renouvelables ; ni à la conservation de la qualité des sols, des eaux des nappes phréatiques et des eaux de surface ; ni à la conservation des savoirs ancestraux et terroirs agricoles. Cette 1^{ère} Révolution verte n'a profité qu'aux industries agro-chimiques des engrais et des phytosanitaires ; qu'aux industries mécaniques qui ont eu un inespéré grand marché pour leurs invendus ; qu'aux banquiers et financiers qui ont recouvré mises et larges intérêts. Tout ceci, pour une avancée technique et des résultats bien mitigés qui ont le plus clairement et surtout participé au démantèlement programmé des sociétés et terroirs ruraux. Ces derniers, cependant et jusque-là, nourrissaient les populations en produits de qualités. Enfin, tout ce micmac de faux progrès pour rien ; sinon, avec au bilan général, une énorme facture, sociale, environnementale et sanitaire à payer indirectement par les populations et les contribuables des Etats !

La 2^{ème} Révolution verte, ou deuxième vague de la Révolution verte, s'est développée par le truchement des innovations biotechnologiques, tels les OGM, l'Agro-industrie et la financiarisation accrue

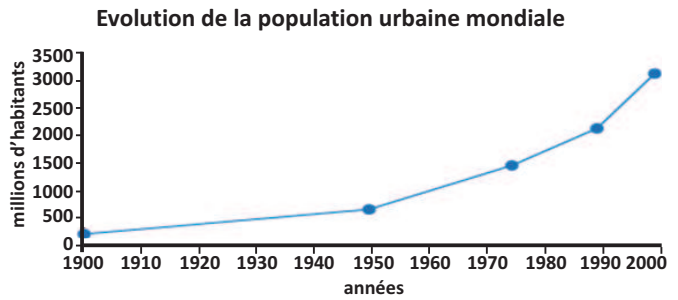


Fig. 4. Evolution de la population urbaine mondiale, selon l'ONU, contrariée par les exodes ruraux successifs suite au délabrement socio-économique des structures traditionnelles rurales en conséquence de la 1^{ère} Révolution verte [4]

des exploitations et productions agricoles et d'élevages. Initiée et développée depuis les années 80, elle devient, aujourd'hui, de plus en plus forte, prépondérante et agressive.

Aujourd'hui 4 ou 5 pays et leurs multinationales de l'agro-industrie dominant tout le marché mondial du soja, du maïs, des oléagineux et concentrés alimentaires des élevages (avicoles, bovins, porcins, ovins, etc...) !

Mondialisation et multinationales de l'agro-industrie participant à la "désacralisation" des terres, mettant en exode des populations rurales pour engranger plus de dividendes

Ces multinationales de l'Agro-industrie chassent et mettent en exode des millions de paysans vers les villes et leurs périphéries, parfois, de bidonvilles. Elles défrichent sans compter les forêts primaires, acquièrent et s'accaparent en concession ou location des centaines de milliers d'hectares de nouvelles terres en Afrique, en Asie, en Amérique du Sud ou ailleurs pour développer encore et encore des monocultures souvent OGM (Organismes Génétiquement Modifiés). Ces terres devenues, après seulement une vingtaine d'années de mondialisation, un domaine "désacralisé" ou un vulgaire moyen de production et de capitalisation des dividendes. Cela, n'étonne plus personne que des pays, entreprises ou multinationales louent en concession des milliers d'hectares de terres de pays tiers dans lesquelles ils développeront des productions agricoles souvent de monoculture à forte rente financière, mais aussi et surtout, à fort impacts environnemental et sanitaire, comme on le verra plus loin.

La première Révolution verte et ses conséquences

sur le délabrement et destruction des structures rurales et agraires a servi de prélude préparatoire à la "désacralisation" des terres. Après seulement 70 ans de ce processus pseudo-moderniste de l'après-guerre, qui plus profité aux industriels de l'Agrochimie, aux industries de mécanique agricole, en crise de marché, ainsi qu'aux financiers et banquiers impliqués (les statistiques françaises révèlent encore de nos jours le chiffre macabre d'un suicide ou disparition d'exploitant agricole par jour!).

Ainsi, les exploitations agricoles, ne sont plus des structures dirigées vers l'autosatisfaction et l'autosubsistance des populations rurales. L'agriculture vivrière et de subsistance des pays du nord a complètement disparue dès les années soixante. 40 ans plus tard, c'est le reste du monde et tous les pays du sud qui en sont concernés par ce mouvement et nivellement de sape socio-économique, bénie ou du moins entérinée par les Etats ! Contrairement, même les pays à forte densité de populations vivant avec le spectre chronique des famines, sont aujourd'hui plus tournés vers des productions spéculatives que vivrières (Coton en Inde et en Egypte; Cacao, Arachide, Thé en Afrique; Café, Sucre en Amérique du sud, etc...).

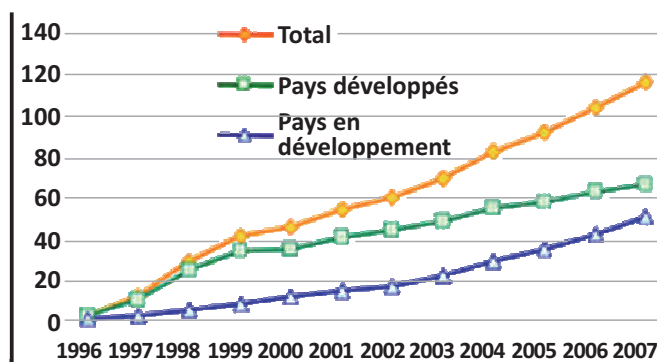


Fig.5. Evolution des surfaces cultivées en OGM (Organismes Génétiquement Modifiés) dans le monde en millions d'hectares (source : ISAAA) [5]

Alors que le paysan ou consommateur algérien ne connaît pas le Soja, il est nourri aujourd'hui essentiellement par cette graine de légumineuse importée. L'huile alimentaire, qu'il utilise dans la plupart de ses aliments cuisinés, est extraite aussi de cette même graine oléagineuse, non cultivée dans le pays, donc importée. Les poulets, dindes et autres viandes blanches sont élevés et engraisés aussi avec des concentrés comportant du Soja en grande partie et du Maïs, d'importation aussi !

Même les élevages ovin et bovin, depuis quelques années, utilisent des concentrés alimentaires à forte proportion de ces deux graines d'importation. Ces pratiques se sont aujourd'hui généralisées, parce qu'elles permettent un engraissement et un gain de poids animal très rapidement, ce qui confère aux éleveurs une rentabilité et des gains substantiels très rapidement, quitte à remarquer, parfois, que le mouton sacrifié pour la fête de l'Aïd rappelle et sent, bizarrement, plus le poulet d'élevage que l'Armoise des Steppes (*Artémisia herba alba* dit "Chih") !

L'impérialisme est aujourd'hui dans nos assiettes

Aussi, par des mesures plus populistes que responsables intervenant à la veille et préparation du mois de Ramadhan 2013, même les barrières et taxes douanières, qui servent plus à protéger l'activité économique nationale, ont été suspendues concernant l'importation des intrants d'élevage avicole... Est-ce pour réellement ménager le pouvoir d'achat de millions d'algériens durant ce mois connu pour ses dépenses de ménage ou bien, cela n'a été qu'un moyen et artifice de plus pour booster les activités d'importation de ces graines rendues aujourd'hui indispensables et certainement fort rentables pour certains.

Ne cherchons plus, l'impérialisme est aujourd'hui dans nos assiettes avec en prime la destruction progressive de notre mode alimentaire et de nos modèles de productions agricoles, de nos structures agraires traditionnelles et des savoirs ancestraux de nos terroirs millénaires. Et, conséquemment au bouleversement sans précédents de notre mode alimentaire, n'oublions pas de préparer l'argent et les dépenses publiques en matière de prise en charge sanitaire de nos populations. Achetez du Soja et Maïs, vous savez d'où ; mais pensez aussi à acheter, et certainement pour longtemps, les équipements et consommables des CAC (Centres Anti Cancer), vous savez certainement d'où, aussi !

Quant à répondre à la question " L'Agriculture biologique peut-elle être une solution du problème ". Je dirai qu'elle pourrait l'être, cependant, celle-ci n'est point suffisante, à elle seule. Car ce type d'exploitation agricole est aujourd'hui très marginal et donc pas très viable économiquement.

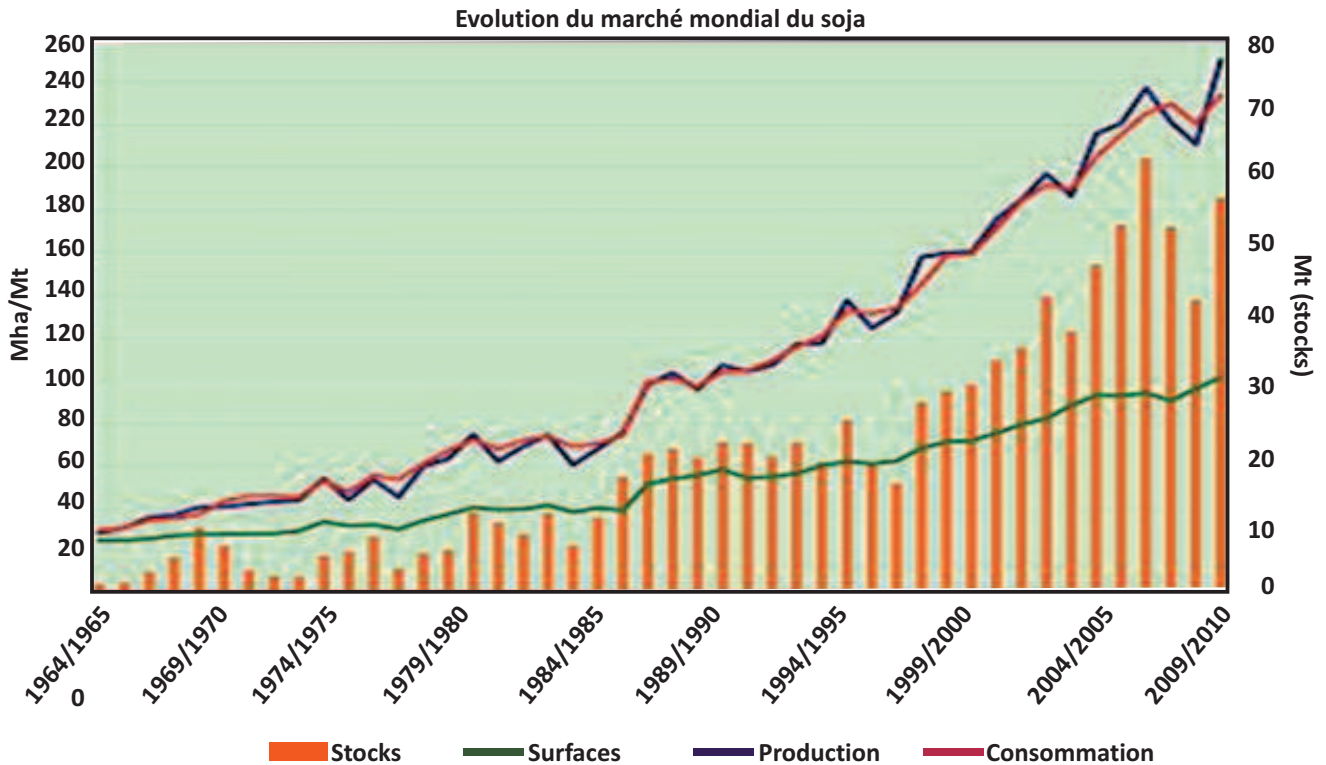
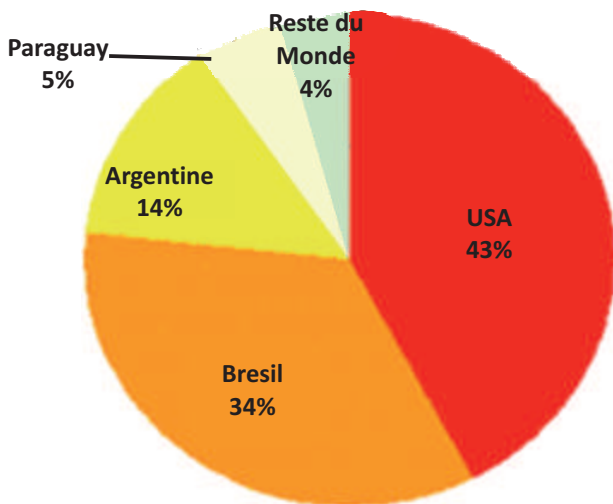


Fig. 6. Evolution du marché mondial du Soja (80 % d'origine OGM aujourd'hui) (USDA, USA) [6]

Les principaux pays exportateurs de soja dans le monde
(volumes moyens exportés sur 2003-2007)



Source: Cap Marchés d'après données USDA

Fig. 7. Parts de marché des multinationales des Agro-industries avec quatre pays qui dominent à elles seules le marché mondial du Soja qui conditionne les activités des élevages et de l'alimentation humaine de centaines de pays [6]

D'autant plus que ses coûts de production sont énormes et son marché bien difficile, sinon le plus souvent non compétitif ou encore inexistant.

Contradictoirement, c'est dans les pays industriels que l'Agriculture biologique a été initiée, à commencer par les USA (40%), l'Allemagne (9%), le Japon (12%), la France (6%), la Grande Bretagne (4%), etc...

Qui sont responsables de ces dérives criminelles ?

Les Etats qui sont par vocation ceux qui ont des prérogatives pour veiller au contrôle et régulation de l'ensemble des activités économiques, sécuritaires, sanitaires et environnementales de leurs territoires et pays. Il semble aujourd'hui que les représentants de beaucoup d'Etats paraissent un peu trop conciliants ou, parfois même, faibles devant l'agressivité sans limites des lobbys de ces agro-industriels. Bizarre! Fait de société, ou réalités du nouveau contexte imposé par la mondialisation et globalisation des économies et des marchés, ou, encore, inflation réelle de ces valeurs morales qui étaient pourtant si élémentaires dans le passé. Tous ces dysfonctionnements nous poussent à constater avec désolation que la probité et intégrité de beaucoup de politiques et "responsables" de nos sociétés actuelles, du Sud ou du Nord fussent-ils, semblent de plus en plus douteuses ;

l'absence de sociétés civiles véritablement indépendantes pouvant être les sentinelles et veilleur-protecteurs de leurs sociétés en donnant l'alarme et parer ainsi à la défaillance des responsables politiques et des parlementaires;

L'absence du rôle et vocation critique chez les élites scientifiques, universitaires, médiateurs et intellectuels, aujourd'hui, trop hyperspécialisées, donc le plus souvent fermées à la compréhension intégrée des phénomènes qui touchent à la vie économique, mais aussi, à la conservation de la nature (environnement), de la vie (biodiversité) et de l'Homme (sanitaire).

Force est de constater aujourd'hui, qu'il n'y a pas que notre milieu naturel qui est en déséquilibre, mais bien aussi nos sociétés et leurs superstructures mentale, affective, intellectuelle et philosophique. Ne nous hâtons pas de retenir qu'il n'y a que notre environnement et ses ressources naturelles qui accusent des dysfonctionnements et déséquilibres : L'Homme est un "Tout", autant organique et physique que mental et intellectuel pour ne pas dire spirituel. Même avec la profusion actuelle, des connaissances et des savoirs rendue possible et démultipliée encore par la démocratisation de l'éducation, des formations et des moyens de communication et d'information, nous avons perdu l'essentiel qui distinguait l'Homme et son originalité d'Être pensant : C'est-à-dire son bon sens ou sa conscience ! L'argent, l'égoïsme et la vanité, installés en primes crédos, l'ont remplacé comme ils ont supplanté beaucoup de valeurs humaines fondamentales. Nous sommes et appartenant désormais, nord et sud confondus, à des sociétés de l'auto suicide. Les stigmates, signes et preuves de ces actes extrêmes ne manquent malheureusement point à notre actualité mondiale macabre : les tueries collectives, sans raisons apparentes, perpétrées par des individus dits isolés et fragiles se sont de plus en plus généralisées à toutes les cultures et territoires du monde ; les extrémismes et fanatismes de tout bord embrigadent dans toutes les cultures et territoires et s'adonnent à des tueries de plus en plus affligeantes; les taux de suicides individuels n'ont jamais réellement baissé malgré les moyens palliatifs prévus et mis en place par beaucoup de pays industrialisés à cet effet, alors que dans beaucoup d'autres pays et sociétés conservatrices ce tabou et fait de société n'est pas sérieusement reconnu,

ni statistiquement chiffré et suivi !

Pour les plus sceptiques d'entre nous, ne pensent-ils pas que certaines substances, drogues et molécules qui sont suffisamment disséminées, aujourd'hui dans le milieu naturel, et conséquemment dans notre chaîne alimentaire ainsi que dans nos produits alimentaires et qu'on ingère, à notre insu, peuvent altérer notre sens et pouvoir de discernement et par la même notre état de conscience (cas des neuroleptiques, anxiolytiques, somnifères et autres). Alzheimer, Parkinson, Scléroses et autres maladies dégénératives du cerveau en pleine expansion dans nos sociétés modernes, sont bien là pour attester de cette triste réalité "environnementalo-sanitaire".

A ce titre, on a observé bien des animaux mettre fin à leur vie quand ils sont acculés, ou des animaux se laisser dépérir par chagrin quand le maître ou compagnon n'est plus là (cas de certains chevaux, de chien, etc...). Méditons, cet exemple édifiant aussi de ces impressionnants mammifères marins (baleines et cachalots), échouant en groupe sur les plages de nos différentes mers et océans, sans aucune explication scientifique satisfaisante jusque-là ...

Enfin, si avant la Révolution industrielle, on pouvait penser à loisir qu'on pouvait arriver à vivre d'Amour et d'Eau fraîche, cela devient pour nous autres aujourd'hui fortement hypothétique puisque l'eau fraîche qu'on buvait directement de nos sources, de nos puits ou de nos rivières, est déjà contaminée et fort corrompue par les nitrates, les insecticides, les antibiotiques, les détergents, les anxiolytiques, les métaux lourds et que sais-je encore. Le marché de l'eau en bouteille (même avec ses PET diffuseurs de perturbateurs hormonaux) chiffre aujourd'hui plusieurs centaines de milliards de dollars et ne cesse de grimper... Pour l'argent, le gain, les dividendes !

A quand, la marchandisation aussi de l'air qu'on doit respirer ?

Conclusion

Quant à conclure, je préfère le faire en rendant hommage à un homme de science qui représente symboliquement à mes yeux ce qui fait beaucoup défaut aux élites de nos sociétés actuelles qu'elles soient du Nord ou des pays du Sud ; c'est-à-dire

cette dimension pluridisciplinaire et d'intégration du Savant et de sa vocation et latitude à exercer son rôle et vocation critique de protection des populations démunies par des transformations socio-économiques mettant en péril leur équilibre, leur sécurité, leur santé et leur légitime droit au bonheur. Il s'agit, vous l'avez deviné, d'Ibn Rochd (Averroès pour les latins) , qui a été, durant sa passionnante vie, Mathématicien, Philosophe, Juriste, Poète et Médecin . Ce bon et sincère praticien, grand travailleur mais sobre savant préconisait, soignait et prodiguait plus à ses malades des conseils de nutritionniste que des drogues d'alchimistes.

Conflit d'intérêts

Aucun

Références

1. Etude AGORAX, <http://www.novissen.com/Pages/EtudeAgoravox.aspx>
2. Statistiques sur les nouveaux cancers en France par InVS, sources : <http://www.invs.sante.fr/Espace-presse/Communique-de-presse/2011/Les-chiffres-2011-du-cancer>
3. Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2015 : "l'utilisation des engrais dépassera 200 millions de tonnes en 2018" <http://www.fao.org/news/story/fr/item/277668/icode/>
4. United Nations/ Departement of economic and social affairs, 2015 Revision of World Population Prospects.<https://esa.un.org/unpd/wpp/>
5. James Clive, 2014 - Global status of commercialized Biotechnology / GM Crops, ISAAA, brief n° 49
6. Données de Planétoscope Conso-Globe, Production mondiale de Soja (2013- 2014), Statistiques mondiales en temps réel : [http:// www.planetoscope.com/cereales/200-production mondiale-de-soja.html](http://www.planetoscope.com/cereales/200-production_mondiale-de-soja.html)

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

2016

La revue intitulée "**Nutrition & Santé**" est un périodique semestriel, qui publie des articles en français et également en anglais. Elle publie particulièrement toute étude originale ayant trait à :

- Connaissance de l'alimentation, diététique et nutrition
- Sciences alimentaires
- Physiopathologies métaboliques et nutritionnelles
- Santé
- Composés bioactifs
- Phytothérapie
- Biotechnologies et nutrition

mais aussi des revues générales, des mises au point, des communications brèves et des « libres opinions » ou des « lettres à la rédaction se rapportant à des sujets d'actualité traités dans la revue.

1. RÈGLES DE PUBLICATION

1.1. Tout manuscrit envoyé à la revue est soumis à relecture. L'approbation du Comité Editorial, après modifications éventuelles, est nécessaire pour la publication de l'article.

1.2. Les articles ne doivent pas avoir été publiés antérieurement, ni être publiés simultanément dans une autre revue.

1.3. Le fait de soumettre un article sous-entend que le travail décrit est approuvé par tous les auteurs. En cas d'acceptation, il ne fera l'objet d'aucune autre publication en l'état, que ce soit en français ou dans toute autre langue, sans le consentement écrit de l'éditeur.

Recommandations d'ordre éthique

L'auteur principal accepte la responsabilité du manuscrit soumis à la revue "Nutrition & santé", au nom des co-auteurs. Les co-auteurs reconnaissent, par leurs signatures au bas de la lettre d'intention, la qualité de leur participation à la rédaction du manuscrit.

1.4. Si des extraits d'autres travaux ou documents sous copyright sont inclus dans l'article, *les auteurs doivent fournir une autorisation écrite* émanant des détenteurs du copyright et citer les sources de la publication princeps dans l'article.

1.5. Les travaux soumis doivent être conformes aux lois en vigueur sur l'expérimentation biomédicale et aux recommandations des comités d'éthiques.

1.6. Enfin, la revue suit les pratiques internationales relatives aux conflits d'intérêt, en rapport avec les publications soumises. *Les auteurs sont priés de respecter les règles de fond et de forme rappelées ici.*

2. SOUMISSION DU MANUSCRIT

Soumission par e-mail

Les manuscrits (texte, tableaux et figures compris) doivent être adressés par courrier électronique à la rédaction de la revue "Nutrition & santé" à l'adresse suivante : nutrition-santé@san-dz.org

Joindre en pièces attachées :

- une lettre à l'éditeur
- un fichier pour le manuscrit complet (avec figures et tableaux à la fin du manuscrit).

Tout manuscrit doit être soumis en **format Word**.

Informations générales

La revue "Nutrition & Santé" offre, à ses lecteurs, différentes rubriques. Les auteurs sont priés d'indiquer sous quelle rubrique ils souhaitent publier leur manuscrit, le Comité Editorial se réservant l'affectation définitive du manuscrit.

- **Les articles originaux** : Ils ne peuvent excéder 20 pages et comportent : un résumé en français et en anglais de 250 mots maximum, il ne doit pas dépasser 45 000 caractères (espaces compris) (env. 20 pages, 25 lignes par page, en double interligne), bibliographie et remerciements inclus.

- **Les articles de synthèse** : Ces articles ont pour but de présenter une mise au point des connaissances, de souligner les acquisitions récentes, de bien montrer comment vont de pair les progrès en biologie et en médecine et, enfin, d'attirer l'attention sur les questions encore non résolues. Les articles ne devraient pas excéder 20 pages (non compris les références, les schémas, les tableaux et leurs légendes). Chaque article doit comporter un résumé en français et en anglais informatif d'environ 30 lignes, ainsi que les mots clés correspondants (3 à 6) servant à référencer l'article dans les bases de données. Les auteurs pour lesquels l'anglais n'est pas familier sont vivement encouragés à faire relire leur texte par des experts en la matière.

L'Editeur se réserve le droit d'apporter des corrections s'ils l'estiment nécessaire.

Les articles pourront comporter jusqu'à 6 illustrations, tableaux ou figures.

Les références bibliographiques ne doivent pas prétendre à l'exhaustivité mais plutôt à la sélectivité : leur nombre ne devrait pas excéder 30.

- **Le point sur...** Cette rubrique est destinée à faire le point sur un sujet technique ou d'actualité et à mettre en perspective les articles de synthèse qui y sont consacrés. Le texte manuscrit comprend environ 5 pages dactylographiées et 10 références bibliographiques. Il est rédigé sur invitation de l'Editeur. Le Résumé et l'abstract ne sont pas requis. Les autres règles applicables pour la soumission de ces communications brèves demeurent identiques à celles mentionnées dans **PRÉSENTATION DU MANUSCRIT**, notamment s'agissant des mots clés et keywords.

- **Les brèves** rapportent une information récente ayant fait l'objet d'une ou de plusieurs publications. Elles sont limitées à 2 pages et à 5 références

3. PRÉSENTATION DU MANUSCRIT

Une page comporte, en double interligne, 60 caractères par ligne, 25 lignes par page (soit environ 1500 caractères par page). Sauf accord de la rédaction, les manuscrits ne doivent pas dépasser 45 000 caractères (espaces compris), bibliographie incluse. Ils comportent :

3.1. Une page de titre donnant le titre long de l'article (Calibri 12, Gras), aussi précis que possible et sa traduction en anglais. Aucune abréviation ne doit être mentionnée.

Les auteurs : Prénom (s) (en toutes lettres) (en minuscule) et noms des auteurs (en majuscule), l'adresse et les coordonnées (mail) du responsable de la correspondance et des co-auteurs (Calibri 12, italique).

3.2. Une 2^{ème} page avec un résumé en français (Calibri 11, normal, maximum 250 mots), structuré en Introduction, Objectif, matériel & méthodes, Résultats et conclusion du travail. Le résumé sera suivi d'une liste de 3 à 7 mots clés. Toute abréviation doit être explicitée à sa première apparition dans le texte.

3.3. Une 3^{ème} page avec un « abstract » en langue anglaise, qui est la traduction du résumé en français, suivi de 3 à 7 « keywords ».

3.4. Un texte (Calibri, 11, normal) **avec Introduction** (permettant au lecteur, même non spécialiste, de connaître l'orientation et l'étendue de l'article, **Matériel & méthodes, Résultats, Discussion et Conclusion**.

3.5. Remerciements

Les personnes citées en remerciements doivent en être informées et avoir donné leur accord.

3.6. Financement

Tout financement de l'étude doit être mentionné.

3.7. Conflits d'intérêt

Tous les auteurs doivent déclarer toutes les relations qui peuvent être considérées comme ayant un potentiel conflit d'intérêt **en lien avec le texte publié**. Un conflit d'intérêt existe quand un auteur et/ou un co-auteur entretient des relations financières ou personnelles avec d'autres personnes ou organisations susceptibles d'influencer ses jugements professionnels concernant une valeur essentielle (bien du patient, intégrité de la recherche...). Dans le fichier de l'article, à la suite des remerciements et avant les références, la déclaration des conflits d'intérêt liés à l'article **doit** figurer. Les principaux conflits d'intérêt sont les intérêts financiers, les essais cliniques, les interventions ponctuelles, les relations familiales...

3.8. Références bibliographiques

Les auteurs assument la responsabilité de l'exactitude des références bibliographiques.

3.8.1. Citations dans le texte.

Chaque référence appelée dans le texte est présente dans la liste bibliographique (et inversement) **et numérotée et appelée par ordre d'apparition**.

Les résultats non publiés et les communications personnelles ne doivent pas figurer dans la liste bibliographique, mais pourront être mentionnés dans le texte. La citation d'une référence comme étant « à paraître » (« in press ») sous-entend que celle-ci a été acceptée pour publication, et doit dans ce cas figurer dans la liste bibliographique.

3.8.2. Citations et listes de références sur Internet

Les références à des publications sur Internet doivent être incluses dans la liste bibliographique, et par conséquent citées dans le texte. Dans la liste bibliographique, l'URL complète doit être donnée au minimum, suivie de la date de consultation : accédée le... Toute information complémentaire, si elle est connue (noms des auteurs, dates, référence à une publication source, etc.) doit également être indiquée.

3.8.3. Liste bibliographique

La liste des références en fin d'article, est **numérotée par ordre de citation dans le texte** (et non dans l'ordre alphabétique des noms d'auteurs). Toutes les références de la bibliographie doivent correspondre à des références citées dans le texte, et vice versa. Le style et la ponctuation des références doivent être conformes aux modèles illustrés dans les exemples suivants :

– *référence à un périodique* : Ferrières J., Bongard V., Dallongeville J. Consommation de produits laitiers et facteur de risque cardiovasculaire dans l'étude MONICA. *Cah Nutr Diet* 2006;41:33–8.

– *référence à un ouvrage* : Moneret-Vautrin DA., Kanny G., Morisset M. Les allergies alimentaires de l'enfant et de l'adulte. Paris: Masson; 2006, p. 1–228.

– *référence à un chapitre d'ouvrage* : Fischler C. La régulation sociale des conduites alimentaires. In : Samuel-Lajeunesse B, Foulon C, editors. Les conduites alimentaires, Paris : Masson; 1994, p. 8–21.

3.9. Figures et tableaux

Les tableaux et figures sont là pour faciliter la compréhension des résultats ou des méthodes. Ils sont un complément indispensable du texte, mais ne doivent pas être redondants. **Tableaux et figures** doivent être présentés à la fin du manuscrit. Les tableaux doivent être numérotés en chiffre romain et les figures en chiffre arabe. Chaque figure ou tableau comporte un titre et une légende. Les notes de bas de tableau ou de figure sont

placées sous le corps du tableau ou de la figure, signalées par une lettre minuscule en exposant. Les filets verticaux doivent être évités sur les tableaux. Les tableaux doivent être en nombre réduit et leur dimension ne doit pas dépasser la largeur d'une page A4. Les figures doivent être d'une taille suffisante pour pouvoir être lues et ne doivent pas être insérées en image. Afin de faciliter les comparaisons, *l'échelle et le figuré des figures devront demeurer constants pour un même type de figures*. L'utilisation des couleurs n'est pas recommandée dans le manuscrit et devra se limiter à l'indispensable.

4. ACCEPTATION DU MANUSCRIT

Les articles sont soumis au Comité Editorial qui sollicite l'avis motivé d'au moins deux référés choisis pour leur compétence et leur expertise en la matière. Une notification est adressée à l'auteur correspondant et dans un délai de 12 semaines, les auteurs sont informés du refus ou de l'acceptation avec modification. Dans ce dernier cas, les auteurs devront resoumettre le manuscrit révisé ainsi que les réponses aux commentaires de chaque référé dans un délai d'un mois.

5. MISE EN PRODUCTION, CORRECTION D'ÉPREUVES, TIRÉS À PART, DEMANDE DE REPRODUCTION

En cas de reproduction partielle ou totale, dans le manuscrit, d'un document ou d'une illustration déjà publiés, l'autorisation écrite de l'éditeur et des auteurs doit être impérativement fournie.

Le manuscrit reçu par l'éditeur est considéré comme étant fourni dans sa forme finale. Il sera envoyé en format PDF par courrier électronique à l'auteur, pour vérification du travail de composition et d'édition. Aucune modification importante ou addition par rapport au manuscrit accepté n'est autorisée à ce stade. Seules les corrections typographiques et orthographiques seront prises en compte. La relecture des épreuves relève de la seule responsabilité des auteurs.

Le Comité Editorial s'efforce de corriger et de publier les articles aussi rapidement et soigneusement que possible. Pour ce faire, la coopération des auteurs est indispensable. Après réception des épreuves en fichier PDF, l'auteur retournera toutes ses corrections en un seul envoi **sous un délai de 7 jours**. Aucune correction ultérieure ne sera possible. Lors de la mise en production du manuscrit accepté pour publication, l'éditeur enverra à l'auteur correspondant un formulaire de transfert de droits par courrier électronique, qui sera dûment complété et signé par l'auteur responsable de l'article pour le compte de tous les auteurs, puis retourné à l'éditeur dans les plus brefs délais. L'auteur recevra une version électronique en format PDF dès la parution de son article.

Les instructions aux auteurs sont disponibles sur le site internet : www.nutrition-sante.dz



الجمعية الإفريقية لعلوم التغذية
African Nutrition Society
Société Africaine de Nutrition



الجمعية المغربية لعلوم التغذية
Société Marocaine de Nutrition
Moroccan Society of Nutrition

7th Africa Nutritional Epidemiology Conference

Marrakesh, Morocco

9 - 14 October 2016



CALL FOR ABSTRACTS

Send your abstracts to: abstracts.anec7@gmail.com

NUTRITION DYNAMICS IN AFRICA: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES FOR MEETING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

Contact & information:

Prof. Bour Abdellatif
Chair of the local organizing committee
Email: info2016.anec7@gmail.com
Phone: +212 (0) 661-500786

Scientific programme:

Dr. Paul Amuna
Chair of the International Scientific Committee
Email: p.amuna@gmail.com

Follow the event:

Facebook



Twitter: [#anmatters](https://twitter.com/anmatters) [#anec7](https://twitter.com/anec7)

Website:

<http://smn.ma/anec-2016/>
<http://www.ansnet.org/anec2016/>



Devenez membre de la SAN sur
www.san-dz.org

Adhésion



Les avantages de l'adhésion

- Vous bénéficiez de réduction sur les frais d'inscription à nos congrès, journées scientifiques ou de formation
- Vous avez accès à la revue de la SAN « Nutrition & santé »
- Vous recevez toutes les informations sur la Nutrition, l'alimentation et la santé
- Vous avez accès à l'annuaire et à l'espace des membres de la SAN sur www.san-dz.org

Comment adhérer

- Vous devez adresser une demande d'adhésion et votre CV (selon le modèle CV pour membre titulaire ou CV doctorant), par voie électronique à contact@san-dz.org

Revue NS Nutrition & Santé - x
www.nutrition-sante.dz

NS Nutrition & Santé


Accueil
Présentation de la revue
Comité d'Édition
Comité scientifique
Archives
Instructions aux auteurs
Actualités
Contact

ISSN 2253-0983 (impression)
ISSN 2353-026X (en ligne)
Directeur de la Publication
Société Algérienne de Nutrition (SAN)

Les articles dans cette revue sont en libre accès (Open Access OA) [Plus d'information](#)

Nutrition & Santé est un périodique semestriel, qui publie, en français et également en anglais, toute étude originale ayant trait aux Connaissances de l'


Nutr. Santé, 2015, Vol. 04, N°01 (Suppl), S1-S129. [Plus d'information](#)



Conférences thématiques
Conférence
Symposium
Communications affichées

[Télécharger la revue](#)

Nutr. Santé, 2015, Vol.04 N°01:1-43 [Plus d'information](#)

 **Sommaire**
Vers la promotion et la qualification de la revue Nutrition & Santé. Malika BOUCHENAK. Nutr. Santé,

www.nutrition-sante.dz

Appel à publications

**Vous pouvez soumettre votre manuscrit,
conformément aux instructions aux auteurs**

à l'adresse mail :

nutrition-sante@san-dz.org