

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE
DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGRO/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Agroalimentaire et contrôle de qualité

Présenté par :

CHOUICHA Samir & NEGGAZ Sofiane

Thème

**Intérêt de l'incorporation de l'inuline dans les aliments
fonctionnels**

Soutenu le : 15/07/2021

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
Mme TAUDIAT	MAB	Univ. de Bouira	Présidente
Mme AMMOUCHE	MAA	Univ. de Bouira	Examinatrice
M MALIOU	MCB	Univ. de Bouira	Promoteur

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciement

Avant tout, nous tenons à remercier le Dieu tout puissant qui nous a accordé santé et courage pour mener ce travail jusqu'au bout.

Nous tenons aussi à remercier notre promoteur M MALIOU qui a accepté de nous encadrer et qui nous a guidé dans la réalisation de ce travail.

Nous remercions également les membres de jury Mme TAOUDIAT et Mme AMMOUCHE qui ont accepté d'évaluer notre modeste travail.

Nous remercions également vers l'ensemble des enseignant(e)s qui nous ont aidé durant notre cursus au sein de la faculté de science de la nature et de la vie et des sciences de la terre (Bouira).

MERCI

Dédicaces

Grace à Dieu le tout puissant, après avoir achevé la réalisation de ce travail, je tien chaleureusement à le dédier à :

Ma mère et mon père qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mes études.

Mes frères et ma sœur, tous mes proches, mes amis et mes camarades.

SAMIR

Dédicaces

Je dédie ce travail en premier lieu à mes chers parents pour leur soutien tout au long de mes études que Dieu les protège et les garde.

À mon frère et mes sœurs. À mes chers amis et mes collègues.

À mes enseignants de l'université Akli Mohand Oulhadj.

SOFIANE

Liste des abréviations

AFSSA : Agence française de sécurité sanitaire des aliments

AHSG: Aspen health strategy group

AGCC: Acides gras à chaîne courte

AGPI : Acides gras polyinsaturés

DP : Degré de polymérisation.

F : Fructose

FOS: Fructooligosaccharides

GAO: General Accounting Office

GOS : Galactooligosaccharides

G : Glucose

LDL : Lipoprotéines de basse densité

OMS : Organisation mondiale de la sante.

PH : Potentiel hydrogène

HP : Haute performance

HDL : Lipoprotéines de haute densité

XOS : Xylooligosaccharide

Liste des tableaux

Tableau 1 : Exemples des effets et fonctions d'un aliment fonctionnel	6
Tableau 2: Certaines composantes fonctionnelles et leurs bienfaits nutritionnels.....	13
Tableau 3 : Différence entre l'inuline, le FOS et le saccharose	16
Tableau 4: Effets bénéfiques des prébiotiques.....	19
Tableau 5: Quantité d'inuline dans certains aliments.....	22
Tableau 6: Application alimentaire de l'inuline	30
Tableau 7: Produits alimentaires enrichis en inuline.	32

Liste des figures

Figure 1: Etapes de développement d'un aliment fonctionnel	8
Figure 2: Structure chimique de l'inuline	23
Figure 3: Processus de production industrielle de l'inuline de chicoré et d'oligofructose.....	25

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

I. Introduction.....	1
II. Synthèse bibliographique	1
II.1. Aliments fonctionnels	3
II.1.1. Définition	3
II.1.2. Historique et origine.....	3
II.1.3. Types d'aliments fonctionnels.....	3
II.1.4. Propriétés et fonctions des aliments fonctionnels	4
II.1.5. Développement des aliments fonctionnels	7
II.1.6. Composantes fonctionnelles.....	9
II.2. Prébiotiques.....	14
II.2.1. Définition	14
II.2.2. Historique	15
II.2.3. Types de prébiotiques.....	15
II.2.4. Effets des prébiotiques sur l'organisme	18
II.3. L'inuline.....	22
II.3.1. Définition	22
II.3.2. Historique	23
II.3.3. Types d'inuline.....	23
II.3.4. Production d'inuline	24
II.3.5. Effets thérapeutiques de l'inuline	26
II.3.6. Utilisation industrielle de l'inuline.....	28
II.3.7. Aliments fonctionnels à base d'inuline	31

III. Conclusion..... 32

Références bibliographiques

I. Introduction

Introduction

Le monde a connu au cours des dernières décennies, une très grande augmentation du nombre de personnes atteintes de maladies chroniques (de 8 % en 1995 à plus 18 % en 2015), mais aussi des coûts de traitement (plus de 2 000 milliards de dollars de dépenses en 2016) (**AHSG, 2019**). L'augmentation des maladies dites « chroniques » particulièrement l'obésité, le diabète, les maladies cardio-vasculaires et certains cancers, représente une source importante de mortalité. D'après l'OMS ces maladies sont responsables d'environ 60 % des 56,5 millions de décès déclarés et 46 % de la charge mondiale de morbidité en 2001, et il s'attend à ce que ce chiffre augmente. Près de la moitié de l'ensemble des décès sont dues à une maladie chronique (**OMS, 2003**).

L'alimentation constitue un facteur très important pour lutter contre ces maladies, elle peut jouer un double rôle : dans la prévention, mais également en provoquant l'apathologie. En effet, son rôle en tant que déterminant de ces maladies non transmissibles est bien documenté dans la littérature. Cette approche de la prévention en tant qu'outil de santé publique est considérée comme la méthode la plus rentable, la plus abordable et la plus durable pour faire face à la prévalence des maladies chroniques dans le monde entier (**OMS, 2003**). Les aliments fonctionnels peuvent faire office de solution pour réduire le risque de ces affections. Il s'agit d'aliments ressemblant à une denrée conventionnelle, mais qui est capable d'avoir des effets bénéfiques sur la santé et de réduire le risque de maladies chroniques (**Bigliardia et Galati, 2013**). Cet avantage est dû à la présence de composés bioactifs dans ces aliments, tels que : les caroténoïdes, les polyphénols, les phytostérols, les acides gras, etc... (**Astley et Finglas, 2016**).

L'inuline fait partie de ces composantes bioactifs, car elle remplit les deux fonctions de fibres alimentaires (elle ne peut pas être digérée par les enzymes digestifs humains) et de prébiotiques (elle stimule sélectivement la croissance des bactéries bénéfiques). L'inuline se trouve dans de nombreuses plantes comme glucide de réserve et fait partie de l'alimentation quotidienne de l'homme depuis plusieurs siècles. Elle est présente dans un très grand nombre d'aliments comme : l'oignon, ail, chicorée, topinambour, etc... (**Chaito et al, 2016**).

Notre objectif dans ce travail est de déterminer l'intérêt de l'inuline sur les différentes fonctions métaboliques de l'homme et l'importance de son incorporation dans les aliments fonctionnels.

Introduction

Pour cela nous avons recours à une synthèse bibliographique comprenant 3 chapitres :

- ❖ Dans le premier chapitre nous abordons des généralités sur les aliments fonctionnels ;
- ❖ le deuxième chapitre nous le consacrons aux prébiotiques ;
- ❖ Dans le troisième et dernier chapitre nous nous intéressons à l'inuline, ces caractéristiques, ces bienfaits et aux aliments fonctionnels à base d'inuline.

II. Synthèse

bibliographique

Chapitre I : Aliments fonctionnels

II.1. Aliments fonctionnels

II.1.1. Définition

Il n'existe pas une définition unique mondialement reconnue pour les aliments fonctionnels, mais plusieurs définitions.

Les aliments fonctionnels sont une catégorie d'aliments, qui en plus de leur valeur nutritionnelle, ont des effets bénéfiques pour la santé. Un aliment est considéré comme étant fonctionnel s'il affecte de manière convenable une ou plusieurs fonctions cibles de l'organisme, en plus d'avoir des effets nutritionnels appropriés, d'une façon qui soit pertinente pour l'amélioration de la santé et du bien-être et/ou la diminution du risque de maladie.

L'aliment fonctionnel doit rester une nourriture et avoir des effets démontrés dans des quantités pouvant être consommés normalement lors d'une prise de repas quotidienne, et ne doit donc pas être sous forme de pilule ou de capsule, mais une partie du régime alimentaire habituel **(Roberfroid, 2002)**.

II.1.2. Historique et origine

Ce n'est qu'au XIX^e siècle que la science de la nutrition a pu émerger. Cette science a permis de réunir les connaissances acquises, en terme de physiologie humaine et celle en rapport avec les aliments et la santé. Le développement de cette science et l'augmentation des risques de maladies chroniques a entraîné une prise de conscience de l'homme sur sa nutrition et la consommation de produits alimentaires lui permettant de diminuer le risque de ces maladies **(Roberfroid, 2002)**. L'origine du terme « aliment fonctionnel » revient au Japon en 1984. L'envie de développer des aliments fonctionnels est survenue pour faire face à l'augmentation des frais de santé. Un système de réglementation a alors été créé par le ministère de la Santé à fin d'approuver les aliments présentant des vertus pour la santé et améliore le bien-être de la population japonaise **(Arai, 2002)**. Le concept scientifique des aliments fonctionnels est apparu par la suite en Europe par un consensus européen publié en 1999 **(Roberfroid, 2002)**.

II.1.3. Types d'aliments fonctionnels

Les aliments fonctionnels sont destinés à réduire le risque de maladies, en retirant certains ingrédients, en additionnant ou en combinant des composants, qui ne se trouvent pas

normalement dans un produit alimentaire, ou en concentrant des substances en quantités plus élevées que d'habitude (GAO, 2000).

Les aliments fonctionnels peuvent être :

- Des aliments naturels (conventionnels) contenant des composantes fonctionnelles naturelles (exemple : le bêta-glucane d'avoine) ;
- Des aliments dans lesquels des composants ont été ajoutés : l'enrichissement des aliments par des substances bioactives (exemple : yaourt enrichi en calcium) ;
- Des aliments avec un ajout d'un composant, qui n'est pas normalement présent dans ces denrées alimentaires et qui n'est pas nécessaire en tant que macro ou micronutriment (exemple : margarine avec phytostérol ajouté);
- Des aliments ou des composants ont été remplacé : remplacement d'un composant, dont l'apport nutritionnel est très important (les graisses), par un composant fonctionnel ayant des vertus bénéfiques pour la santé (exemple : remplacement des graisses par l'inuline).
- Des aliments dont la biodisponibilité a été modifiée : augmentation de la biodisponibilité ou de la stabilité d'un composant connu pour produire un effet fonctionnel, ou pour réduire le potentiel de risque de maladies (exemple : yaourt enrichi en inuline);
- Toute combinaison de ceux-ci (Butnariu et Sarac, 2019 ; Siro *et al*, 2008).

II.1.4. Propriétés et fonctions des aliments fonctionnels

II.1.4.1. Propriétés des aliments fonctionnels

Les propriétés des aliments fonctionnels sont fondée sur un consensus européen récent, dont les particularités du concept sont:

- D'être des produits alimentaires traditionnels et courants;
- D'être consommés dans le cadre de l'alimentation normale et habituelle;
- D'être composés de constituants naturels, parfois en concentration inhabituelle ou ajouté dans des produits alimentaires qui n'en contiennent pas naturellement;
- D'avoir des effets bénéfiques sur des fonctions cibles, au-delà de ce qui peut être attendu de la valeur nutritive traditionnelle;
- D'avoir la capacité de maintenir, voire d'améliorer l'état de bien-être ou de santé, ou de réduire le risque d'une maladie;

- D'avoir la capacité d'apporter un bénéfice physiologique, qui se traduit par une amélioration de la qualité de la vie, incluant : les performances physiques, intellectuelles ou le bien-être psychologique et comportemental;
- D'avoir une ou des allégations justifiées scientifiquement et autorisées par une instance reconnue (**Butnariu et Sarac, 2019**).

II.1.4.2. Fonctions des aliments fonctionnels

Les aliments fonctionnels peuvent avoir plusieurs fonctions (voir tableau 01), selon le type de substance bioactives qu'ils contiennent :

► **Renforcement**

Renforcement de la capacité physique, psychologique et l'immunité du corps humain : les produits qui ont des effets de renforcement du système immunitaire sont généralement les produits à base de probiotiques et prébiotiques (exemple: yogourts additionnés de probiotiques) et de produits riche en vitamines.

Renforcement des capacités intellectuelles et la gestion du stress : les produits à haute teneur en fer ou en zinc jouent un rôle de renforcement des capacités intellectuelles et aident à la gestion du stress.

► **Réduction du risque**

Il existe plusieurs aliments fonctionnels qui peuvent réduire le risque de maladies (exemple : les produits riches en substances minérales aident à réduire les risques d'ostéoporose).

► **Comblement des déficiences**

Le problème des carences alimentaires peut être résolu par l'apport en micronutriments tels que le zinc, le sélénium et le calcium.

► **Rétablissement**

Les aliments fonctionnels peuvent faciliter le rétablissement de certaines maladies. Il s'agit principalement des produits de la sphère colorectale qui aident à rétablir la flore intestinale. (**Doyon et al, 2006**)

Chapitre I : Les aliments fonctionnels

Tableau 1 : Exemples des effets et fonctions d'un aliment fonctionnel.

Effet	Fonctions	Références
Amélioration de la fonction gastro-intestinale	Rétablissement et renforcement	<i>(Duggan et al, 2002 ; Cencic et Chingwaru, 2010)</i>
Amélioration du sommeil	Comblement des déficiences	<i>(Zeng et al, 2015).</i>
Amélioration de l'anémie nutritionnelle	Comblement des déficiences	<i>(Arai, 2002)</i>
Anti-Mutation	Réduction du risque	<i>(Ferrari et Torres, 2003)</i>
Anti-Tumoral	Réduction du risque	<i>(Aghajanjpour et al, 2017)</i>
Régulation de la pression artérielle	Réduction du risque	<i>(Chen et al ,2009)</i>
Régulation immunitaire	Renforcement	<i>(López-Varela et al, 2002)</i>
Régulation des lipides sanguins	Réduction du risque	<i>(Chen et al, 2014)</i>
Régulation de la glycémie	Réduction du risque	<i>(Kazeem, et Davies, 2016).</i>
Amélioration de la calcification osseuse	Comblement des déficiences	<i>(Arai, 2002)</i>
Promotion de la croissance et du développement	Comblement des déficiences et renforcement	<i>(Arai, 2002)</i>
Antifatigue	Comblement des déficiences	<i>(Zeng et al, 2018 ; Dorneles et al, 2018)</i>
Amélioration de la beauté	Comblement des déficiences	<i>(Shahidi , 2006).</i>
Amélioration de la vision	Comblement des déficiences et renforcement	<i>(Arai, 2002)</i>
Amélioration de la mémoire	Comblement des déficiences et renforcement	<i>(Hamer et al ,2005; Atlante 2020)</i>
Réduction du poids corporel	Rétablissement	<i>(Konstantinidi et Koutelidakis ,2019).</i>

II.1.5. Développement des aliments fonctionnels

Le développement des aliments fonctionnels passe par plusieurs étapes (figure 01) :

- Premièrement: l'étude de la composante fonctionnelle de l'aliment et détermination du lien entre l'aliment et ses vertus.
- Deuxièmement: effectuer des études in vitro (culture biologique) et in vivo (animaux) de manière respectueuse.
- Troisièmement: effectuer des essais sur l'homme devront être effectués, en utilisant des dosages appropriés à l'homme de composante fonctionnelle (bioactives) et déterminer les effets secondaires, s'ils existent.
- Quatrièmement: développement d'un transporteur alimentaire idéal pour le composant fonctionnel (exemple : fruits dans du yaourt).
- Cinquièmement: sensibilisation des consommateurs sur les bienfaits des aliments fonctionnels sur le bien-être de l'organisme humain.
- Sixièmement: établir des études épidémiologiques sur une ou plusieurs populations, dans le but d'un suivi des effets de l'aliment fonctionnel et de déterminer son efficacité.
- Septièmement: suivi du produit alimentaire sur le marché et détermination du comportement de consommateur vis-à-vis du produit. **(Martirosyan et Singh, 2015)**

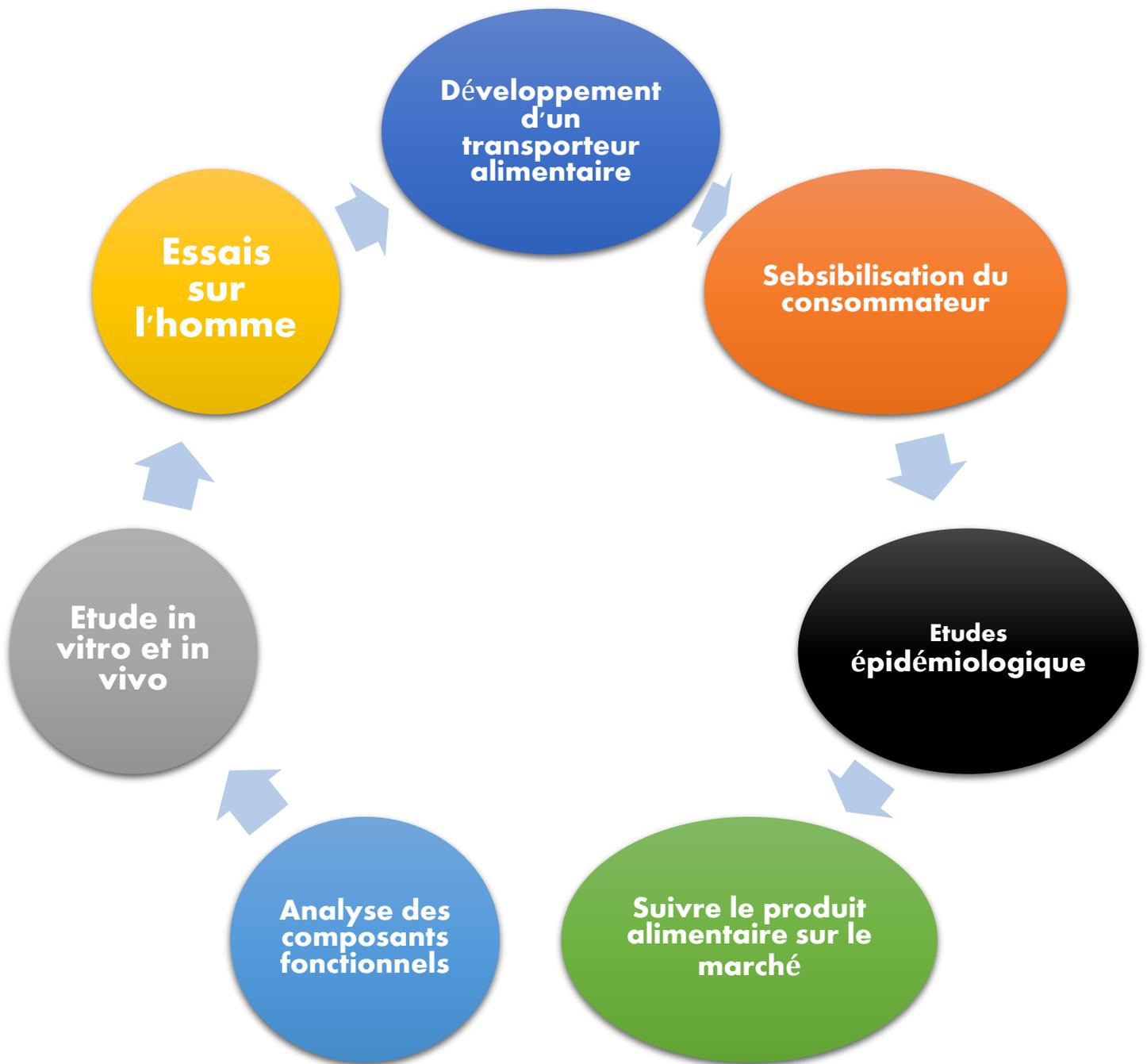


Figure 1: Etapes de développement d'un aliment fonctionnel (Martirosyan et Singh, 2015)

II.1.6. Composantes fonctionnelles

Les composantes fonctionnelles ou bien les composantes bioactives (voir tableau 02) constituent la partie des aliments fonctionnels, qui offre des bienfaits pour la santé et parmi ses composantes :

II.1.6.1. Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments, qui se trouvent généralement dans les plantes, les fruits, les légumes et les bactéries photosynthétiques. Il existe plus de 600 caroténoïdes découverts dans la nature, environ 40 sont présents dans le régime alimentaire humain. Parmi ces caroténoïdes, seuls 14 et certains de leurs métabolites ont été identifiés dans le sang, et dans les tissus. Les caroténoïdes sont responsables de la majeure partie des colorations oranges, rouges et jaunes des plantes (fruits, tige et feuilles), et même certains volatiles (exemple : flamants roses), insectes, animaux aquatiques (exemple : roses de saumon) et crustacés. Ils sont transformés en rétinoïdes (vitamine A), et peuvent avoir des effets proinflammatoires, immunomodulateur, ainsi qu'une importante propriété antioxydante (**Eldahshan et Singab, 2013**).

II.1.6.2. Fibres alimentaires

Les fibres alimentaires sont un mélange de glucides complexes dérivés de la paroi cellulaire ou du cytoplasme des cellules végétales. Elles comprennent : les polysaccharides, les oligosaccharides, la lignine et d'autres substances apparentées qui ne peuvent pas être digérées par l'intestin grêle humain.

Les fibres alimentaires ont de nombreux effets sur la santé humaine :

- Elles sont essentielles au fonctionnement normal du transport intestinal et à la prévention des maladies gastro-intestinales ;
- Elles jouent un rôle dans la baisse du cholestérol, la prévention des maladies cardiovasculaires, le contrôle du poids et la baisse de la glycémie (diabète). (**AFSSA, 2002**)

Les fibres alimentaires sont classées selon leurs solubilités en deux groupes :

❖ **Fibres solubles :**

Les fibres solubles forment des solutions visqueuses plus ou moins importantes dans l'eau, ou des gels (exemple : β -glucanes). Ces composés sont exploités comme additifs alimentaires pour leurs propriétés émulsifiantes ou épaississantes.

❖ **Fibres insolubles :**

Les fibres insolubles demeurent en suspension et absorbent d'importantes quantités d'eau (exemple : la cellulose, hémicellulose) (**Boclé *et al*, 2005**).

II.1.6.3. Acides gras

Les acides gras présents dans les graisses alimentaires répondent non seulement à une partie de notre consommation énergétique, mais aussi à nos besoins en acides gras essentiels (comme les acides gras polyinsaturés AGPI).

Les AGPI comprennent deux familles : ω -3 (acide linoléique) et ω -6 (acide linoléique). Ces AGPI jouent un rôle important dans la structure et le métabolisme des membranes cellulaires et affectent la santé humaine, en s'impliquant dans la prévention de nombreuses pathologies (maladies neurodégénératives, maladies cardiovasculaires, inflammatoires, etc...) (**Arbex *et al*, 2015**).

II.1.6.4. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des métabolites secondaires à structure polyphénolique, largement présents dans les fruits, les légumes et certaines boissons. Ils ont divers effets biochimiques et antioxydants favorables associés à diverses maladies (exemples : le cancer, la maladie d'Alzheimer, l'athérosclérose, etc...). Les flavonoïdes sont associés à un large spectre d'effets bénéfiques pour la santé et sont des composants indispensables dans une variété d'applications alimentaires, pharmaceutiques, médicinales et cosmétiques. Ceci est dû à leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimutagènes et anticancérigènes, couplées à leur capacité à moduler les fonctions clés des enzymes cellulaires (**Panche *et al*, 2016**).

II.1.6.5. Stérols végétaux

Les stérols végétaux sont des alcools stéroïdes, qui font partie intégrante des membranes cellulaires végétales. Ils se sont avérés être des composants clés de la membrane plasmique végétale, et peuvent exercer des fonctions similaires dans les cellules humaines. Ces composés ne peuvent pas être synthétisés par l'homme et sont introduits par l'alimentation, où ils se trouvent concentrés dans les aliments végétaux, en particulier ceux qui sont riches en lipides. Les stérols végétaux contribuent à la diminution du « mauvais » cholestérol et à la réduction des risques de maladies cardio-vasculaires (**Bruce et Grattan, 2013**).

II.1.6.6. Prébiotiques

Les prébiotiques sont des substances alimentaires indigeste, qui stimulent sélectivement la croissance d'espèces de bactéries favorables dans l'intestin, profitant ainsi à l'hôte. Ces substances sont principalement dérivées d'oligosaccharides non-digestibles, parce qu'elles ne sont ni digérées, ni absorbées. Ils fournissent des substrats (exemples : l'oligofructose, les fructooligosaccharides et l'inuline), qui aident la croissance des bactéries intestinales bienfaisantes et de ce fait améliorent la santé de l'hôte (**Jacela *et al*, 2010**).

II.1.6.7. Probiotiques

Les probiotiques sont définis comme des organismes vivants, qui lorsqu'ils sont ingérés en quantité adéquate, contribuent à l'équilibre microbien intestinal. Ils sont considérés comme des compléments alimentaires microbiens vivants, qui affectent de manière bénéfique la santé de l'hôte. C'est le cas des lactobacilles présents dans le yaourt, qui améliore le fonctionnement gastro-intestinal et réduisent la diarrhée provoquée par les bactéries pathogènes (**Salminen *et al*, 1998**).

II.1.6.8. Saponines

Les saponines sont des molécules produites naturellement par les plantes ou les animaux, et peuvent être trouvées dans plusieurs variétés de plantes, mais peu sont utilisées comme nourriture pour les humains.

En raison de leur nature bipolaire (parties hydrophiles et lipophiles), les saponines peuvent interagir avec les membranes cellulaires et peuvent également réduire la tension

superficielle des solutions aqueuses. Ils ont des propriétés antioxydantes, anticancéreuses et réduisent le risque de maladie cardiaque. (Moghimipour et Handali, 2015)

II.1.6.9. Phytoestrogènes

Les phytoestrogènes sont des composés de type œstrogène dérivés de plantes. Quatre composés phénoliques classés comme phytoestrogènes sont : les isoflavones, le stilbène, le coumestan et le lignane. Parmi les sources des phytoestrogènes: le soja, l'ail, le céleri, les carottes, les pommes de terre, le riz, le blé, ect...

Les phytoestrogènes ont comme bienfaits :

- La diminution des symptômes de la ménopause ;
- La protection contre les maladies cardiaques et certains types de cancer ;
- La diminution du mauvais cholestérol LDL. (Desmawati et Sulastri, 2019)

II.1.6.10. Vitamines

Les vitamines sont des composés organiques, dont le corps a besoin pour la croissance et le maintien des fonctions cellulaires et organiques normales, parce qu'ils ne peuvent pas être fabriqués en quantités suffisantes. Ils sont nécessaires en petites quantités dans le régime alimentaire.

Il existe 14 vitamines, qui sont classés : en vitamines hydrosolubles comprenant les vitamines de groupes B et C et en vitamines liposolubles de groupe A, K, E et D. Les vitamines participent à une grande variété de processus biochimiques et physiologiques (Hovdenak et Haram, 2012).

II.1.6.11. Sels minéraux

Les sels minéraux sont responsables des fonctions structurelles impliquant : le squelette, les tissus mous et les fonctions de régulation, y compris la transmission neuromusculaire, la coagulation sanguine, le transport de l'oxygène et l'activité enzymatique.

Le calcium, le phosphore et le magnésium sont requis en quantités relativement importantes et sont désignés comme macrominéral. Le calcium est le minéral le plus abondant dans le corps humain, représentant 1,5 à 2 % du poids corporel total. Ces fonctions sont si

Chapitre I : Les aliments fonctionnels

vitales pour la survie, que lors d'un régime alimentaire avec une carence sévère de calcium, ils peuvent déminéraliser les os (Ferry, 2012).

Tableau 2: Certaines composantes fonctionnelles et leurs bienfaits nutritionnels (Lau *et al*, 2013)

Composants	Produit	Effets bénéfiques
Lycopène	Tomates	Réduction du risque de cancer de la prostate.
Bêta-glucane	Avoine, orge	Réduction des maladies cardiovasculaires, réduire les risques de LDL et de cholestérol total.
Acides gras oméga-3	Huiles de poisson	Réduction des maladies cardiovasculaires et améliorer les fonctions mentales.
Catéchines	Thé	Neutraliser les radicaux libres et réduire les risques de cancer.
Isoflavones	Produits à base de soja	Réduction des maladies cardiovasculaires et réduire le LDL et le cholestérol total.
Flavones	Graines de lin	Neutraliser les radicaux libres et réduire les risques de cancer.
Lactobacilles	Yaourt	Amélioration de la qualité de la microflore intestinale.

Chapitre II : *Prébiotiques*

II.2. Prébiotiques

II.2.1. Définition

Les prébiotiques sont bien distingués des probiotiques, car ils ne sont pas des microorganismes (**Roberfroid, 1995**). Un prébiotique est un élément alimentaire non-digestible, qui améliore la santé de l'hôte en stimulant sélectivement la croissance et/ou l'activité d'une ou plusieurs bactéries dans le côlon. Les prébiotiques sont capables de supporter les processus digestifs avant d'atteindre le gros intestin (**Slavin, 2013**).

Un prébiotique idéal doit être: résistant aux acides gastriques, aux sels biliaires intestinaux, aux autres enzymes hydrolytiques, ne doit pas être absorbé par le tube digestif supérieur et doit être facilement fermenté par une flore intestinale bénéfique (**Slavin, 2013**).

Les prébiotiques ont plusieurs effets bénéfiques (voir tableau 03) sur l'organisme : la prévention de la diarrhée ou de la constipation, la modulation du métabolisme de la flore intestinale, la prévention du cancer, des effets sur le métabolisme lipidique, la stimulation de l'absorption minérale et les propriétés immunomodulatrices (**Slavin, 2013**).

Les composés prébiotiques sont présents naturellement dans de nombreux aliments (exemples: le poireau, l'asperge, l'ail, l'oignon, le blé et la banane). Il existe d'autres composants glucidiques dans les plantes avec le potentiel prébiotique, comprenant les polysaccharides dans les parois cellulaires végétales (exemples : les xylanes, les pectines) (**Scott et al, 2018**).

Nous pouvons distinguer un prébiotique d'un autre ingrédient alimentaire par les critères suivants :

- ✓ Il ne doit ni être hydrolysé ni absorbé dans la partie supérieure du tractus gastro-intestinal ;
- ✓ Il doit être une substance sélective pour une ou un nombre limité de bactéries bénéfiques du côlon et stimule leur croissance et / ou activité métabolique, ou les deux ;
- ✓ Il doit être capable de changer la composition du microbiote colique afin de la rendre plus saine ;
- ✓ Il doit avoir des effets bénéfiques sur la lumière du tube digestif ou bien des effets systémiques vis à vis de l'hôte.

Seules deux composantes alimentaires peuvent répondre entièrement aux critères d'un véritable prébiotique, les fructooligosaccharides et l'inuline (**Hume, 2011**).

II.2.2. Historique

Le terme prébiotique est apparu pour la première fois dans la littérature scientifique en 1954, où il a été démontré qu'un composant du lait maternel (N-acétyl-glucosamine), favorisait la croissance d'une souche de bifidobactéries.

En 1957, le lactulose a été reconnu comme un facteur de la production de bifidus. Plus tard, entre 1970 à 1980, des chercheurs japonais ont rapporté que plusieurs oligosaccharides nondigestibles étaient des facteurs bifidogènes, ce qui a permis d'avoir une nouvelle vision sur l'étude de la flore intestinale. (Tymczyszyn *et al*, 2014)

Ce n'est qu'en 1995, que les prébiotiques ont été définis pour la première fois par Gibson et Roberfroid comme des substances alimentaires non digérées, qui stimulent la croissance et/ou l'activité d'un ou plusieurs types de microorganismes occupant le tractus gastro-intestinal, améliorant l'état de santé de l'hôte. Cette définition a été mise à jour en 2004, et les prébiotiques ont été définis comme étant des substances fermentées sélectivement permettant des changements spécifiques de la composition et/ou de l'activité des micro-organismes du tractus gastro-intestinal, bénéfiques pour le bien-être de l'hôte.

Enfin, en 2007, les experts de la FAO et de l'OMS ont défini les prébiotiques comme des composants alimentaires non-viables, qui procurent un bénéfice envers de la santé de l'hôte (Markowiak et Iżewska, 2017).

II.2.3. Types de prébiotiques

II.2.3.1. Fructans

Cette catégorie comprend l'inuline et le fructooligosaccharide. Leur structure est une chaîne linéaire de fructose avec liaison β (2 \rightarrow 1). Ils ont généralement des unités de glucose terminales. L'inuline a un DP allant jusqu'à 60, tandis que le DP du FOS est inférieur à 10 (voir figure 02) (Davani-Davari *et al*, 2019).

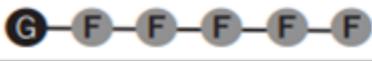
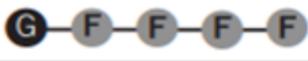
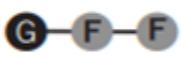
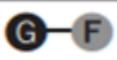
II.2.3.1.1. L'inuline

L'inuline est une chaîne de molécules de fructose reliées par des liaisons β -(2-1) terminée par une molécule de glucose. Le nombre de molécules de fructose dans une chaîne d'inuline varie de deux à plusieurs dizaines (voir Tableau 3). En raison de sa structure chimique l'inuline n'est pas décomposée par les enzymes digestifs humains, cependant elle constitue une parfaite

Chapitre II : Les prébiotiques

source de carbone pour les bactéries prébiotiques favorables à la santé (Glibowski et Bukowska, 2011).

Tableau 3 : Différence entre l'inuline, le FOS et le saccharose (Asagiri, 2020).

Longueur de la chaîne	DP	Nom
	7-60	Inuline
	6	
	5	FOS
	4	
	3	
	2	saccharose

II.2.3.1.2. Fructooligosaccharides

Le FOS est composé d'un mélange de Kestose (GF2), de Nystose (GF3) et de Fructosylnystose (GF4), obtenu à partir de saccharose par addition enzymatique de fragments de fructose, avec un degré moyen de polymérisation (de 3 à 6) (tableau 03). Ils sont différents des fructanes naturels, et également différents de l'oligofructose formé par l'hydrolyse de l'inuline par la présence systématique de la partie glucose.

Le FOS est présent à l'état de traces comme composant naturel dans plus de 36 000 sources végétales sous forme de glucides de réserve, la plus forte concentration est présente dans le topinambour (jusqu'à 20 %) et la chicorée (entre 5 et 10 %). Ces oligomères de fructose ont des propriétés fonctionnelles bénéfiques, une faible valeur calorique et peuvent être utilisés dans une formulation diabétique. En plus, le FOS présente de nombreux avantages pour la santé, ils sont : la diminution des niveaux de cholestérol et de triglycérides, augmentation de l'absorption intestinale de minéraux (exemple : le calcium et le magnésium) et la stimulation de la croissance des bifidobactéries dans le côlon humain. (Shubhangi *et al*, 2015)

II.2.3.2. Lactulose

Lactulose est un disaccharide synthétique composé de deux molécules de sucre fructose et galactose liés ensemble par une liaison β -1,4-glycosidique. Le lactulose est 1,5 fois plus sucré que le lactose et peut être cristallisé à partir d'une solution d'alcool. La liaison β -glycosidique

Chapitre II : Les prébiotiques

du disaccharide lactulose n'est pas hydrolysée par les enzymes digestifs des mammifères et le lactulose ingéré traverse l'estomac et l'intestin grêle sans dégradation. Il est typiquement utilisé par toutes les espèces de *bifidobacterium*, qui résident dans le tractus intestinal humain.

Dans le côlon, un grand nombre de bactéries métabolise le lactulose et l'utilise comme nourriture. Ces bactéries produisent de l'acide lactique, acétique et formique, ainsi que du gaz carbonique. Ces acides contribuent au ramollissement des selles, d'où le lactulose peut être utilisé comme laxatif.

Le lactulose a des propriétés prébiotiques, car il stimule la croissance de bactéries bénéfiques pour la santé dans le tractus gastro-intestinal, telles que les bifidobactéries et les lactobacilles et en même temps inhibe les bactéries pathogènes. Il peut être produit par isomérisation du lactose en regroupant le résidu glucose en molécule de fructose. (Sousa *et al*, 2011)

II.2.3.3. Galactooligosaccharides

Les GOS sont composés de molécules de galactose liées au lactose, constituées de 3 à 6 saccharides avec 2 à 5 unités de galactose relié par des liaisons β . Ils sont présents à la fois dans le lait humain et le lait de vache, et peuvent être produite synthétiquement à partir de sirop de lactose en utilisant la β -galactosidase (Tuohy *et al*, 2005).

Les galactooligosaccharides ne sont ni absorber ni dégrader par les enzymes digestive, mais ils constituent un substrat pour une ou plusieurs bactéries bénéfiques de la flore colique (Bruno-Barcena et Azcarate-Peril, 2015).

La supplémentation alimentaire de ces substances entraîne une augmentation de la quantité de bifidobactéries et inhibe la croissance de bactéries pathogènes, ou d'organismes putréfactifs, qui provoquent une production excessive de gaz, et facilite les fonctions normales de l'intestin (Sousa *et al*, 2011).

II.2.3.4. Xylooligosaccharides

Les xylooligosaccharide (XOS) sont des oligosaccharides, composés de sucres à 5 carbones, constitués de chaînes D-xylose liées par des liaisons β -(1 \rightarrow 4), obtenus par l'hydrolyse du xylane présent dans l'hémicellulose (Corzo *et al*, 2015). Les XOS sont utilisés comme ingrédients alimentaires dans de nombreuses préparations : des préparations nutritives,

Chapitre II : Les prébiotiques

des produits laitiers et des préparations spéciales pour aliments diététiques (**Aachary et Prapulla, 2011**).

Ils offrent plusieurs propriétés et avantages bénéfiques pour la santé, ce qui rendent les XOS produites à grande échelle afin de les utilisés comme compléments alimentaires, ou ils sont combiné avec des probiotiques pour développer de nouveaux aliments fonctionnels avec la capacité de réduire les troubles gastro-intestinaux, l'obésité, le diabète et le cancer, conduisant à une meilleure santé (**Mhetras et al, 2019**).

II.2.4. Effets des prébiotiques sur l'organisme

Les prébiotiques ont de multiples effets sur l'organisme (voir tableau 04). Ils ne sont pas digérés par les enzymes de l'hôte, et atteignent le côlon avec peu de changement où ils sont fermentés par des bactéries saccharolytiques, en particulier *bifidobacterium*. La consommation de prébiotiques affecte grandement la composition du microbiote intestinal et ses activités métaboliques. Cela est dû à la régulation du métabolisme des lipides, à l'augmentation de la capacité d'absorption du calcium, à l'impact sur le système immunitaire et au changement de la fonction intestinale.

Les prébiotiques fournissent une source d'énergie, qui ne peut être utilisée que par un type spécifique de bactéries et qui sont susceptibles d'avoir un impact important sur la composition et le métabolisme du microbiote. La structure moléculaire des prébiotiques détermine leurs fonctions physiologiques, et les types de micro-organismes qui peuvent être utilisés comme sources intestinales de carbone et d'énergie.

L'objectif principal des prébiotiques est de stimuler la croissance et l'activité des bactéries bénéfiques dans le tractus gastro-intestinal, apportant ainsi des bienfaits pour la santé de l'hôte, en s'opposant (production des substances antimicrobiennes) et en rivalisant pour l'adhésion épithéliale et la nutrition.

Les produits du métabolisme prébiotique sont principalement des acides gras à chaîne courte : l'acide acétique, l'acide butyrique et l'acide propionique, qui sont ensuite utilisés par l'hôte comme source d'énergie.

Suite à la fermentation des glucides, les bifidobactéries ou les *lactobacillus* peuvent produire des composés, qui inhibent le développement d'agents pathogènes gastro-intestinaux et abaissent le pH du tractus intestinal. De plus, les bactéries *bifidobacterium* présentent une

Chapitre II : Les prébiotiques

tolérance aux acides gras à chaîne courte produits et à la réduction du pH. (Al-Sheraji *et al*, 2013)

Tableau 4: Effets bénéfiques des prébiotiques.

Effets bénéfiques	Explication
Développement d'une résistance aux effets néfastes des sels biliaires.	► Les fructooligosaccharides et leurs dérivés monomères offrent une résistance contre les effets néfastes des sels biliaires sur les bifidobactéries, avec une meilleure croissance (Belorkar et Gupta, 2016).
Rôle dans l'absorption des minéraux et l'ostéoporose.	► L'absorption de calcium et de magnésium est cruciale pour la structure osseuse et l'augmentation de l'absorption peut prévenir des maladies telles que l'ostéoporose. Il a été démontré que l'ajout de prébiotiques (galactooligosaccharides et fructooligosaccharides) augmente l'absorption du calcium et du magnésium (Al-Sheraji <i>et al</i> , 2013). ► Les fructo-oligosaccharides additionnés de calcium chez des femmes ménopausées a enregistré des effets bénéfiques sur la densité minérale osseuse, ce qui est très significatif dans l'ostéoporose (Belorkar et Gupta, 2016).

Chapitre II : Les prébiotiques

Tableau 4 : suite 01

Effets bénéfiques	Explication
Élimination du cholestérol.	<p>▶ En présence de prébiotiques (FOS), le cholestérol est éliminé par la bactérie <i>Lactobacillus acidophilus</i>. (Belorkar et Gupta, 2016)</p>
Favorise la croissance sélective de bifidobactéries.	<p>▶ Les prébiotiques optimisent les conditions de croissance (optimisation du milieu) des bifidobactéries. (Belorkar et Gupta, 2016)</p>
Prévention du cancer.	<p>▶ Le traitement prébiotique avec le GOS a un effet chimio-préventif contre la formation des biomarqueurs liés au cancer colorectal (Une dose de GOS de 8 g par jour est plus efficace). Une nouvelle combinaison de GOS et d'inuline a montré une activité préventive plus forte que leurs traitements individuels seuls (Qamar et al, 2016).</p> <p>▶ La présence d'un nombre important de bifidobactéries et/ou de lactobacilles peut expliquer cette protection anticancéreuse :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ En se liant à des molécules cancérigènes ou toxiques, qui sont ensuite éliminées par le flux fécal ; ✓ En réduisant le nombre et/ou les activités des bactéries putréfiantes dans le côlon, entraînant une réduction des activités enzymatiques impliquées dans les voies cancérigènes. (Tuohy et al, 2005) <p>▶ L'activité anticancérigène de l'inuline est observée in vivo avec une réduction des dommages variaient de 55,78 à 87,56% (Mauro et al, 2013).</p> <p>▶ L'administration de prébiotiques peut être une stratégie prometteuse pour la chimio-prévention du cancer colorectal. (Qamar et al, 2016)</p>

Chapitre II : Les prébiotiques

Tableau 4 : suite 02

Effets bénéfiques	Explication
Effets de prévention sur les maladies allergiques	<ul style="list-style-type: none">▶ Les prébiotiques peuvent moduler directement ou indirectement les trois grands systèmes dysfonctionnels dans le développement des maladies allergiques : le microbiote, le système immunitaire et les barrières épithéliales.▶ Des études précliniques ont démontré l'efficacité de la supplémentation en prébiotiques pour surmonter les symptômes allergiques cutanés, alimentaires et respiratoires. <p>(Brosseau <i>et al</i>, 2019)</p>
L'amélioration de l'environnement intestinale.	<ul style="list-style-type: none">▶ Les fructooligosaccharides permettent une croissance et des activités métaboliques maximales de la flore bénéfique dans l'intestin humain.▶ Les prébiotiques tels que les oligosaccharides exercent un effet combiné à la fois sur le pH de l'environnement intestinal et sur le métabolisme de la communauté bactérienne. <p>(Belorkar et Gupta, 2016)</p>
La formation de la flore intestinale postnatale chez les enfants.	<ul style="list-style-type: none">▶ Chez les enfants, les interventions prébiotiques peuvent avoir un effet significatif, en particulier sur la formation de la flore intestinale postnatale. <p>(Hashizume <i>et al</i>, 2018)</p>

Chapitre III :

L'inuline

II.3. L'inuline

II.3.1. Définition

L'inuline est un mélange hétérogène de polymères de fructose, se trouve en abondance dans la nature, principalement en tant qu'hydrates de carbone de réserve dans les plantes. Elle se trouve dans un grand nombre d'aliments (voir tableau 05), principalement dans les tubercules de topinambour et de dahlia et dans les racines de chicoré en grande quantité (**Ahmed et Rashid, 2017**), mais la plante qui est exploitée au niveau industriel pour l'extraction du fructane de type inuline est la chicorée (**Franck A, 2002**). Le polymère d'inuline se compose d'une longue chaîne de 2 à 60 molécules de fructose, qui sont reliées par des liaisons β -(2-1). La molécule de fructose terminal est liée à une molécule de glucose par une liaison α -(1-2) (voir figure 02) (**Roberfroid, 1999**).

Tableau 5: Quantité d'inuline dans certains aliments

Aliments	Inuline %	Références
Oignon	2 à 6	<i>(Sousa et al, 2011)</i>
Racine de Chicoré	15 à 20	
Poireau	3 à 10	
Ail	9 à 16	
Feuilles d'Artichaut	3 à 10	
Banane	0.3 à 0.7	
Orge	0.5 à 1.5	
Blé	1 à 4	
Tubercule de Topinambour	14 à 19	
tubercules de dahlia	15 à 20	<i>(Singh et Singh, 2010)</i>
racine de yacon	3 à 19	
agave	7 à 10	

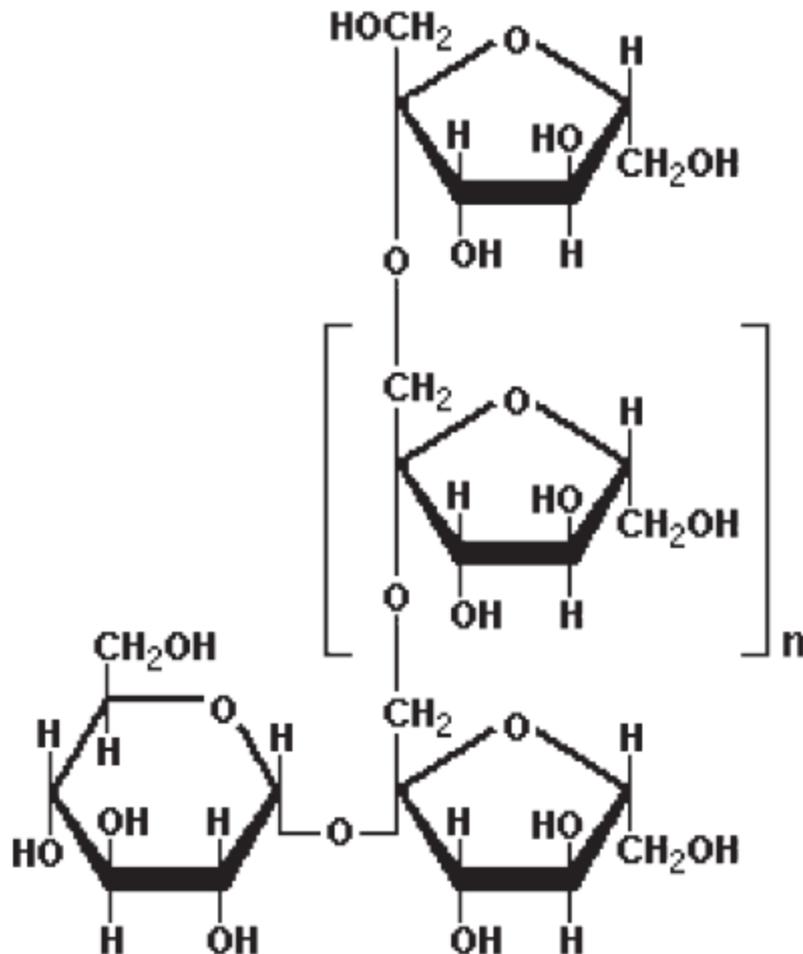


Figure 2: Structure chimique de l'inuline (Gibson et Delzenne, 2008)

II.3.2. Historique

L'inuline est produite naturellement dans plus de 36 000 plantes dans le monde, mais la source commerciale prédominante d'inuline est la racine de chicorée. Cette dernière est torréfiée et utilisée comme substitut des grains de café (une tasse de café à la chicorée peut contenir trois grammes d'inuline). Après l'amidon, l'inuline est le glucide le plus abondant présent dans la nature. Elle est présente dans un tiers de la végétation totale sur terre. L'inuline a été découverte par un scientifique allemand, qui a trouvé en 1804 une substance particulière d'origine végétale dans un extrait d'eau bouillante des racines d'*Inula helenium* (grande Aunée), originaires des régions tempérées de l'Europe, l'Asie et l'Afrique, la substance a été nommée inuline (Boeckner et al, 2001).

II.3.3. Types d'inuline

L'inuline existe sous deux formes différentes. Les plus courantes sont : l'inuline native avec un degré moyen de polymérisation qui varie de 10 à 12 (Glibowski et Bukowska, 2011)

et l'inuline à haute performance (HP) à longue chaîne et un haut poids moléculaire (**Dehghan et al, 2013**).

L'inuline standard est légèrement sucrée (10% de douceur par rapport au sucre), alors que l'inuline haute performance ou la fraction ayant un degré de polymérisation inférieur à dix est éliminée, ne l'est pas sucrée. Elle se combine facilement avec d'autres ingrédients sans modifier les saveurs délicates. Elle est moyennement soluble dans l'eau (maximum 10 % à température ambiante) et apporte une viscosité assez faible (**Franck, 2002**).

II.3.4. Production d'inuline

Plusieurs tentatives sont faites pour isoler et purifier l'inuline au début des années 1990, afin de l'utiliser comme ingrédients alimentaires.

Actuellement, l'inuline est utilisée (sous une forme pure) comme ingrédients dans de nombreux produits alimentaires. Le Topinambour, dahlia et la chicorée sont initialement envisagés pour la production industrielle en raison de leur teneur élevée en inuline (15 %), mais la chicorée est presque la seule à être transformée (voir figure 03). Les racines de chicorée, qui sont également utilisées dans différents pays pour la production d'un substitut de café (après torréfaction), ont l'aspect de petites betteraves à sucre de forme oblongue. Leur teneur en inuline est élevée (plus de 70 % de la substance sèche) et assez constante d'une année à l'autre (**Franck, 2002**).

Le processus de production, consiste en l'extraction de l'inuline naturellement présente dans la racine de la chicorée, d'une manière très similaire à l'extraction du saccharose de la betterave à sucre, par diffusion dans l'eau chaude, suivie d'un raffinage à l'aide de technologies issues de l'industrie du sucre et celle de l'amidon (par exemple : les échangeurs d'ions), puis évaporation et séchage par pulvérisation. L'oligofructose est produit à l'aide de deux techniques de fabrication différentes qui donnent des produits finis légèrement différents. L'oligofructose de chicorée est obtenu par hydrolyse enzymatique de l'inuline à l'aide d'une endoinulinase, éventuellement suivie d'un séchage par pulvérisation, mais il peut également être synthétisé à partir du saccharose en utilisant la fructosyltransférase (**Franck, 2002**).

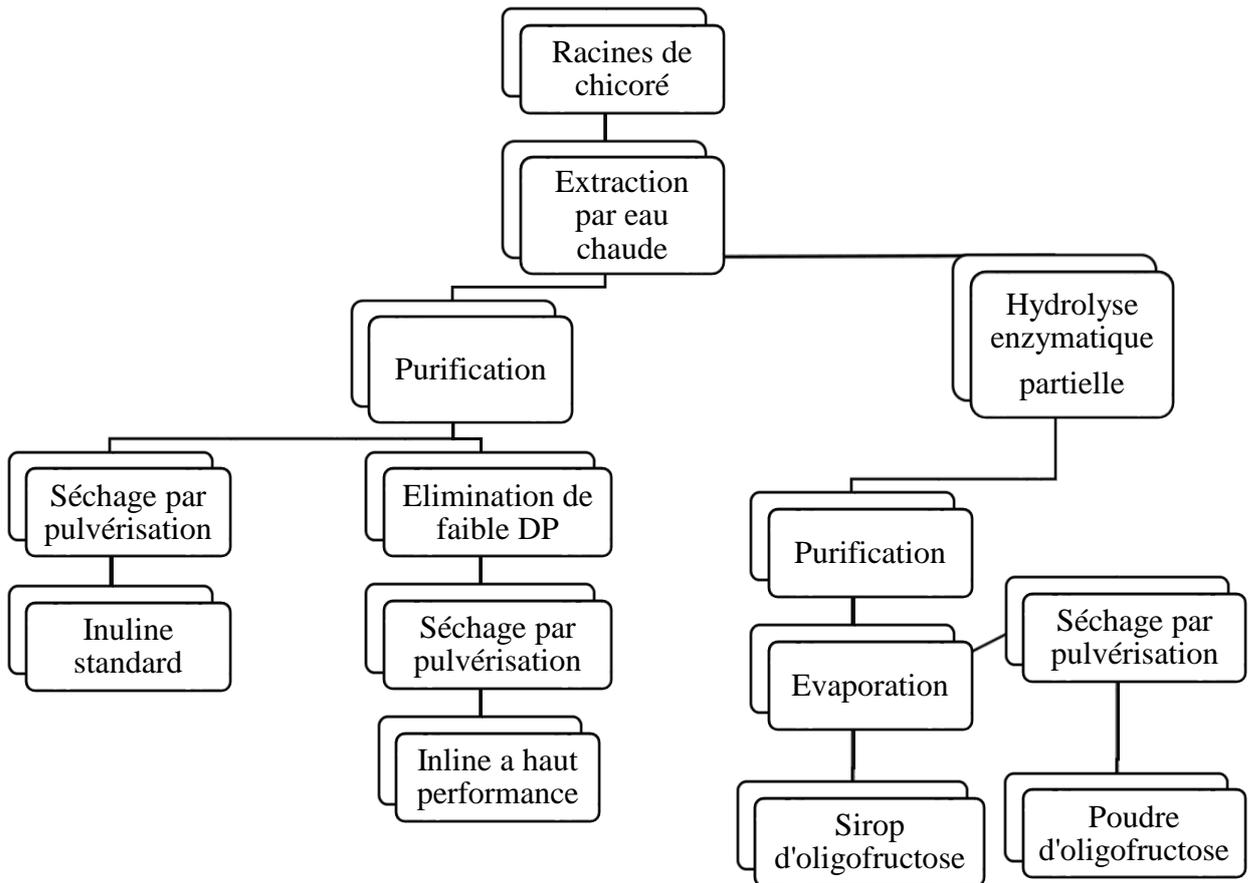


Figure 3: Processus de production industrielle de l'inuline de chicoré et d'oligofructose (Franck, 2002)

II.3.5. Effets thérapeutiques de l'inuline

L'inuline en tant que fibre fermentescible à une influence positive vis-à-vis du microbiote intestinal, plusieurs travaux antérieurs ont démontré l'importance de la flore intestinale pour le bien-être de l'organisme humain (moduler l'expression des gènes impliqués dans les réponses immunitaires, l'homéostasie tissulaire, la physiologie intestinale et le métabolisme) (**Dong et al, 2019**).

II.3.5.1. Effet de l'inuline sur le microbiote intestinale

Le gros intestin est le plus fortement colonisé par les microorganismes avec jusqu'à 10^{12} bactéries pour chaque gramme de contenu intestinal. La prédominance des bifidobactéries dans le gros intestin est essentielle à la prévention de nombreuses maladies et au maintien d'une bonne santé. Cette prédominance peut être obtenue par l'utilisation de substrats glucidiques sélectifs (ces glucides doivent atteindre le côlon sans être ni digérés ni absorbés dans le tractus gastro-intestinal supérieur, et doivent être sélectivement utilisés par les bactéries qui y sont présentes) dans l'alimentation pour la croissance des espèces indigènes (bifidobactéries), l'inuline est un exemple de ces substrats.

Des études ont confirmées dans des essais avec des volontaires humains, qu'il y a des effets bifidogènes pour l'inuline et de ce fait, elles ont confirmé l'effet prébiotique de l'inuline (**Oliveira hauly et Moscatto, 2002**). L'effet bénéfique de l'inuline est dû à la capacité des bifidobactéries à modifier l'environnement colique, en inhibant les bactéries nuisibles via la formation de bactériocines, la compétition pour les substrats ou les sites d'adhésion sur l'intestin et la stimulation du système immunitaire. L'inuline contribue également à l'absorption de certains ions et à la synthèse des vitamines B. (**Kaur et Gupta, 2002**).

II.3.5.2. Effet de l'inuline sur le transit intestinal

De nombreux facteurs contribuent au développement de la constipation avec l'âge, tels que : les changements dans l'alimentation et l'apport hydrique, la diminution de la consommation de produits contenant des fibres, la prise de médicaments ou de laxatifs, la diminution de la motilité intestinale et la sédentarité. Plusieurs études chez l'homme suggèrent que la fermentation des glucides stimule la motilité colique. Il a été observé que l'administration d'inuline atténue la constipation chez 9 sur 10 des sujets traités, avec une augmentation significative de la fréquence des selles (**Jenkins et al, 1999**).

Des études sur l'homme ont démontré que l'inuline augmente le volume fécal et l'élimination de l'azote et favorise la croissance des bifidobactéries au détriment des autres anaérobies (**Jenkins *et al*, 1999**). Après avoir administré de l'inuline à des volontaires des changements bénéfiques sont observés dans les indicateurs de performance des selles. Ce qui montre, que la consommation d'inuline a un effet d'amélioration sur la santé intestinale du consommateur.

En tant que fibre alimentaire, l'inuline fait des probiotiques la flore dominante du tractus intestinal. En même temps, l'inuline est fermentée par des bactéries bénéfiques dans l'intestin pour produire des acides gras à chaîne courte (AGCC), qui peuvent réduire la valeur du pH de l'intestin inhibant la croissance de micro-organismes nocifs. (**Hao *et al*, 2019**)

II.3.5.3. Effet de l'inuline sur l'absorption des minéraux

Dans les plantes, il existe un composé d'acide phosphorique appelé acide phytique, qui provoque l'insolubilisation des minéraux, mais tandis que l'inuline est décomposée par les bactéries, des AGCC (l'acide butyrique) sont produits en tant que sous-produits, ces derniers rendent les intestins légèrement acides, ce qui permet de dissoudre les minéraux insolubilisés par l'acide phytique (**Kojima *et al*, 2012**). L'inuline augmente l'apport de calcium dans le tissu osseux et entraîne une amélioration de la densité minérale osseuse et joue un rôle dans la prévention de l'ostéoporose (**Kaur et Gupta, 2002**). Il a été observé que l'administration d'inuline à des filles de 9 à 12 ans, avec un faible apport habituel en calcium a permis une augmentation significative de la calcémie (**Souza *et al*, 2010**). Une autre étude des effets de l'inuline sur l'absorption minérale *in vivo* a démontré que la consommation de l'inuline affecte positivement l'absorption du Ca et Mg (**Campos *et al*, 2010**).

II.3.5.4. Effet de l'inuline sur l'obésité et les maladies cardiovasculaires

L'obésité est un facteur qui cause des maladies chroniques, telles que le diabète ou le cancer. Les dernières recherches montrent que l'obésité chez les adolescents est également associée de manière significative à la prévalence du cancer.

Une consommation excessive d'énergie et une activité sédentaire peuvent provoquer un excès d'énergie dans l'organisme, entraînant une accumulation de graisses. L'inuline peut restaurer la muqueuse intestinale endommagée pour améliorer l'inflammation chronique. La supplémentation en inuline réduit la perméabilité de la couche de mucus et renforce la fonction immunitaire de l'intestin, en augmentant les lymphocytes, la sécrétion d'interleukine (capacité

à promouvoir l'activité antibactérienne et la prolifération des cellules épithéliales intestinales), en renforçant la barrière intestinale, en réduisant le risque de passage des endotoxines à travers la barrière intestinale dans le sang et en contrôlant l'apparition d'une inflammation chronique à la source.

L'inuline en tant que fibre alimentaire absorbe l'eau et gonfle pour former un colloïde à haute viscosité, ce qui prolonge le temps de vidange de l'estomac et réduit la prise alimentaire. En même temps, elle peut également former des complexes avec des protéines, lipides et autres substances dans l'intestin grêle pour inhiber cette absorption de substances similaires, afin de réduire l'accumulation de graisses. (**Huan *et al*, 2020**)

L'inuline réduit le risque de maladie cardiovasculaire grâce à ses effets bénéfiques sur les taux plasmatiques de cholestérol et de glucose. Des études sur les effets de l'inuline alimentaire sur de jeunes hommes en bonne santé ont montré que le cholestérol à lipoprotéines de haute densité (HDL) augmente considérablement et que le rapport entre le cholestérol total et les lipoprotéines de haute densité (HDL), les triglycérides sériques, la glycémie à jeun et la résistance à l'insuline diminue (**Barclay *et al*, 2010**).

II.3.5.5. Effet de l'inuline sur la réduction du risque de cancer

L'inuline réduit le risque de développement du cancer du côlon, en effet des études effectuées sur des modèles animaux ont démontrés que les produits de fermentation de l'inuline ont des effets suppresseurs de tumeurs, en particulier les AGCC (l'acide butyrique et l'acide propionique), qui inhibent la croissance des cellules cancéreuses du côlon. L'effet de l'inuline sur les tumeurs n'a pas seulement été observé que sur le colon, parce que l'inuline a également inhibé le cancer du sein induit chez des rats femelles, et a également inhibé la croissance des cellules tumorales implantées dans les muscles. Ce qui indique la présence d'un ou plusieurs médiateurs induits par l'inuline (l'inuline affecte la totalité de l'organisme pas seulement le colon). Plusieurs études en cours tentent de confirmer ces résultats chez l'homme (**Barclay *et al*, 2010**).

II.3.6. Utilisation industrielle de l'inuline

L'inuline est un polysaccharide naturel doté de propriétés physiques et chimiques uniques, qui est utilisé comme véhicule d'administration de médicaments, ou comme fibre alimentaire avec de nombreux avantages pour la santé.

L'inuline est utilisée industriellement dans les produits pharmaceutique pour l'administration de médicament ou dans l'industrie alimentaire pour remplacer la graisse. **(Franck, 2002)**

II.3.6.1. Utilisation de l'inuline pour remplacer la graisse

La graisse joue un rôle crucial dans l'industrie alimentaire, en particulier dans les émulsions alimentaires. L'inuline a une capacité remarquable pour remplacer la graisse (voir tableau 06) **(Tanaka, 2013)**. Lorsqu'elle est soigneusement mélangée avec de l'eau ou un autre liquide aqueux, elle forme un réseau de gel de particules résultant en une structure blanche crémeuse, avec une texture tartinable et qui peut facilement être incorporée dans les aliments pour remplacer la graisse jusqu'à 100 %. Plusieurs études visant à remplacer les graisses dans des produits alimentaires ont été menées.

Exemples :

- ❖ Etude visant à remplacer la graisse dans la moutarde : l'ajout d'inuline n'a eu aucune influence négative sur les propriétés physico-chimiques, texturales et sensorielles de la sauce moutarde faible en gras avec des fibres alimentaires en remplacement des matières grasses **(Hosseinvand et Sohrabvandi, 2016)**.
- ❖ Etude sur l'ajout d'inuline à la crème allégée pour améliorer les propriétés nutritionnelles et technologiques et prévenir les effets de l'abus de graisses sur la santé **(Yousefi *et al*, 2018)**.

II.3.6.2. Utilisation pour l'administration de médicaments

L'inuline n'est digérée que par les bactéries du côlon et non dans l'intestin grêle, ce qui favorise ses bienfaits pour la santé en tant que prébiotique. Une meilleure compréhension de la chimie et du comportement des polymères d'inuline a conduit à de nouvelles utilisations importantes en tant que véhicule d'administration de médicaments, immunostimulateur et adjuvant de vaccin. L'inuline a une excellente biodégradabilité, renouvelabilité, solubilité dans l'eau, biocompatibilité et non toxicité, ce qui la rend très attrayante en tant que vecteur d'administration de médicaments, ciblant l'administration du côlon et l'administration pulmonaire. La modification des groupes hydroxyles de l'inuline permet l'introduction de nouveaux groupes fonctionnels dans le polymère. Ce qui signifie qu'il peut être facilement modifié chimiquement. Cela permet l'utilisation de dérivés d'inuline comme supports pour une variété d'applications pharmaceutiques.

Chapitre III : L'inuline

L'inuline est considérée comme un polysaccharide très attractif pour le ciblage du côlon, car elle n'est dégradée que par des enzymes inulinase spécifiques trouvées dans le côlon. (Barclay *et al*, 2010)

Les hydrogels créés à partir d'inuline font d'excellents supports pour l'administration de médicaments dans les systèmes ciblés, en plus d'un effet contre les cellules cancéreuses du côlon (Afinjuomo *et al*, 2019).

Tableau 6 : Application alimentaire de l'inuline (Ahmed et Rashid, 2017)

Utilisation	Fonctionnalité
▶ Les produits laitiers	▶ Remplacement du sucre et des graisses, synergie avec les édulcorants, corps et sensation en bouche, stabilité de la mousse, fibres et prébiotiques.
▶ Desserts glacés	▶ Remplacement des sucres et des graisses, texture et fonte, synergie avec les édulcorants, fibres et prébiotiques.
▶ Tartinade de table	▶ Remplacement des graisses, texture et capacité d'étalement, stabilité de l'émulsion, fibres et prébiotiques.
▶ Produits de boulangerie	▶ Remplacement du sucre, fibres et prébiotiques, rétention d'humidité.
▶ Céréales	▶ Remplacement du sucre, croustillant et expansion, fibres et prébiotiques.
▶ Produits diététiques	▶ Substitut du sucre et des graisses, synergie avec les édulcorants, faible valeur calorique, corps et sensation en bouche, fibres et prébiotique
▶ Chocolat	▶ Remplacement du sucre, résistance à la chaleur

II.3.7. Aliments fonctionnels à base d'inuline

Actuellement, les consommateurs s'intéressent de plus en plus à une alimentation saine. De nouveaux aliments et produits sont apparus sur le marché, qui en plus de la nutrition, possèdent des avantages pour la santé. Ces aliments appelés « aliments fonctionnels » sont créés avec des ingrédients qui fournissent des bénéfices pour la santé humaine. Les aliments fonctionnels élaborés à partir d'inuline, offrent d'innombrables avantages : ils permettent le développement et la croissance du microbiote intestinal bénéfique, la régulation du transit intestinal, la réduction des risques de certaines maladies (le cancer du côlon et les infections intestinales), l'amélioration de l'absorption du calcium (favoriser la santé osseuse et prévient l'ostéoporose), la diminution du taux de cholestérol sérique et la prévention du diabète (**Karimi et al, 2015**).

L'inuline est de plus en plus utilisée dans les aliments fonctionnels (voir tableau 07), notamment dans les produits laitiers, mais aussi dans d'autres aliments, comme les pains. Du fait de ses propriétés gélifiantes, l'inuline permet le développement d'aliments faibles en gras, sans en altérer le goût, ni la texture. Cela est particulièrement vrai dans les produits tels que les tartinades de table, les produits similaires au beurre, le fromage (**Karimi et al, 2015**). Elle peut remplacer de grandes quantités de matières grasses et stabiliser les émulsions tout en offrant une texture tartinable (**Brasil et al, 2011**).

L'inuline est utilisée dans les produits de boulangerie et les céréales, elle donne plus de croustillant et d'expansion aux céréales, et augmentent la durée de conservation. Elle permet de sauvegarder l'humidité et la fraîcheur plus longtemps dans les préparations boulangères (les pains et les pâtisseries). L'ajout d'inuline au pain améliore les paramètres sensoriels, nutritionnels et physiques (un niveau de 6 % d'inuline ajouté au pain donne une bonne qualité sensorielle) (**Brasil et al, 2011**). L'inuline peut même être incorporée dans les pâtes alimentaires, afin d'en améliorer les propriétés nutritionnelles, sans pour autant diminuer les propriétés rhéologiques (l'ajout de 5 % d'inuline montre la qualité rhéologiques la plus élevée) (**Mastromatteo et al, 2012**).

La solubilité de l'inuline permet de l'incorporer dans les produits laitiers faibles en gras tels que les boissons lactées (exemples : le lait au chocolat (**Homayouni-Rad et al, 2012**)), les fromages, les yaourts, les crèmes et les desserts lactés, l'ajout d'une petite quantité d'inuline confère une saveur équilibrée et une sensation plus crémeuse en bouche.

Chapitre III : L'inuline

Dans les mousses laitières faites à partir de chocolat, de fruits, de yaourt ou de fromage frais, l'incorporation d'inuline améliore la transformabilité et la qualité. Les produits résultants conservent leur structure typique plus longtemps.

L'élaboration des fromages fonctionnels à base d'inuline apporte aux consommateurs une forte valeur ajoutée et des bénéfices supérieurs aux fromages traditionnels (**Machuca et al, 2015**), de même que l'ajout d'inuline au yaourt qui permet d'augmenter le nombre des bifidobactéries et *L.acidophilus* (**Mutlu et al, 2016**). Utilisée aussi dans les desserts glacés, elle offre une réalisation facile, avec d'excellentes propriétés, ainsi qu'une stabilité lors de la congélation et décongélation.

Elle est utilisée comme substitut de graisse dans les produits carnés, les sauces et les soupes. Le résultat est des produits carnés allégés en matières grasses. L'inuline est également utilisée comme ingrédient à faible teneur en calories et comme fibre dans le chocolat sans sucre ajouté, souvent en combinaison avec un polyol ou avec du fructose (**Franck, 2002**).

Il existe plusieurs aliments enrichis en inuline développés dans de nombreuses études, voici quelques exemples (voir tableau 07) :

Tableau 7 : Produits alimentaires enrichis en inuline.

Produits	Etude	Effets et résultats démontrés	Références
Lait et boisson lactée	► Ajout d'inuline au lait et boisson lactée	► Résultats positifs dans l'analyse des matières fécales ; ► Provoque une augmentation du nombre de bifidobactéries et une réduction des bactéries pathogènes ; ► Donne un effet modulateur positif sur l'écosystème intestinal.	(González-Herrera et al, 2015)
Fromage	► L'élaboration d'un fromage complété par des prébiotiques (l'inuline) et des probiotiques	► Un produit symbiotique de caractéristiques sensorielles acceptables a été obtenu. ► Les résultats indiquent que le produit possède un potentiel symbiotique.	(González-Herrera et al, 2015)

Chapitre III : L'inuline

Tableau 7 : suite 01

produits	Etude	Effets et résultats démontrés	Références
Yaourt	<p>► Enrichissement du yaourt en inuline</p>	<p>► Augmentation de la viscosité, avec un niveau de douceur moyen.</p> <p>► L'inuline possède un effet symbiotique vis-à-vis des probiotiques et affecte positivement leur survie (un bon taux de survie des probiotiques après l'ajout d'inuline).</p> <p>► Des yaourts brassés à haute teneur en inuline (de 3% à 15%) peuvent être obtenus, et il est possible de les classer comme aliments fonctionnels avec une allégation santé.</p> <p>► Les avantages sont liés au fait qu'une concentration élevée de cette fibre alimentaire peut aider à maintenir le bon fonctionnement du système digestif.</p> <p>► L'incorporation d'inuline (1 à 3 %) offre un effet gustatif synergique en combinaison avec l'aspartame ou l'acésulfame K (exemple : les yaourts aux fruits diététiques).</p>	<p>(González-Herrera et al, 2015)</p> <p>(Bikowska et al, 2020)</p> <p>(Stephen et al, 2006)</p>
Crème glacée	<p>► l'effet de l'inuline à un niveau de 4% sur les propriétés rhéologiques d'une glace ordinaire allégée et d'une glace probiotique</p>	<p>► Des caractéristiques de texture plus favorables, en termes de fermeté et de fonte ont été obtenues avec l'inuline.</p> <p>► l'inuline augmente la survie des probiotiques lors du développement de la crème glacée symbiotique et remplace les matières grasses sans altérer le produit.</p>	<p>(González-Herrera et al, 2015)</p>

Chapitre III : L'inuline

Tableau 7 : suite 02

produits	Etude	Effets et résultats démontrés	Références
Pain	► Substitutions de la graisse du pain	<p>► Une réduction des matières grasses et du sucre.</p> <p>► Les résultats montrent qu'à mesure que le pourcentage d'inuline augmente, l'humidité et la densité de la mie augmentent également.</p>	(González-Herrera et al, 2015)
Pâtes	► Enrichissement des pâtes en inuline	<p>► La qualité des pâtes (spaghettis) était généralement bonne.</p> <p>► La qualité des spaghettis cuits diminuait inversement avec la concentration en inuline.</p> <p>► Un régime comprenant des pâtes enrichies à 11 % d'inuline offre des effets significativement positifs sur les peptides de l'intestin et sur les facteurs impliqués dans la modulation du taux de vidange gastrique.</p>	(González-Herrera et al, 2015)
Céréale	► Augmentation de propriétés nutritionnelles des céréales par l'inuline	<p>► Les résultats ont montré une corrélation négative entre les modifications des lipides sanguins et l'augmentation des bifidobactéries, tout en démontrant des effets positifs en termes d'excrétion secondaire d'acides biliaires et de diminution du nombre de microorganismes anaérobies facultatifs.</p> <p>► Aucune douleur abdominale, aucun effet sur le poids des matières fécales ou sur le nombre de mouvements péristaltiques n'a été constaté.</p>	(González-Herrera et al, 2015)

Chapitre III : L'inuline

Tableau 7 : suite 03

produits	Etude	Effets et résultats démontrés	Références
Gâteau	► Remplacement des graisses	<ul style="list-style-type: none"> ► Une diminution significative du cholestérol total et du cholestérol LDL. ► Une amélioration non significative des niveaux d'insuline. 	(De Luis et al, 2010)
Chocolat	► Remplacement du saccharose par l'inuline	<ul style="list-style-type: none"> ► Le chocolat avec moins de sucre possède une teneur élevée en fibres alimentaires et une valeur énergétique plus faible. ► Un produit idéal pour les personnes diabétiques. 	(Abed et al, 2016)
Produits à tartiner gras et produits laitiers à tartiner	► Remplacement des graisses	<ul style="list-style-type: none"> ► L'ajout de 7,5% d'inuline native à des matières grasses à tartiner (20 à 40% de matière grasse) donne un produit avec une bonne structure et un goût parfait. ► La tartinabilité et la sensation en bouche en font un substitut parfait et faible en gras aux margarines. ► Un gel d'inuline à base de 20 % d'inuline à longue chaîne est la base d'une pâte à tartiner à très faible teneur en matière grasse. ► Une réduction calorique de 45% peut être obtenue, par rapport au produit conventionnel. 	(Phillips et Williams, 2009)
Mayonnaise /vinaigrette faible en gras	► Remplacement des graisses	<ul style="list-style-type: none"> ► Avec l'ajout d'inuline (5%), une mayonnaise ou une vinaigrette stable et faible en gras avec de bonnes propriétés d'écoulement est obtenue. ► De plus, l'inuline est capable de masquer le goût acide/ aigre. 	(Phillips et Williams, 2009)

Chapitre III : L'inuline

Tableau 7 : suite 04

produits	Etude	Effets et résultats démontrés	Références
Les produits carnés	► Remplacement de la graisse des produits carnés	<ul style="list-style-type: none">► L'inuline est restée stable pendant la cuisson et les traitements thermiques ultérieurs.► Avec des niveaux de graisse significativement plus faibles et un niveau de désirabilité acceptable.► Conférer une santé prébiotique.► L'ajout d'inuline aux produits carnés contenant des matières grasses ajoutées, comme les saucisses, pourraient plaire aux consommateurs soucieux de leur santé, car ils sont importants pour la nutrition humaine dans le contexte des directives diététiques.► Impacts positifs de l'inuline sur les paramètres de qualité texturale, sensorielle et technologique par rapport aux produits gras, ainsi qu'elle a des effets bénéfiques sur la santé humaine.	<p>(Keenan <i>et al</i>, 2014)</p> <p>(Öztürk et Serdaroğlu, 2017)</p>

III. Conclusion

Conclusion

Actuellement, les maladies chroniques liées à l'alimentation deviennent un problème majeur pour la population mondiale. Les aliments fonctionnels offrent une solution pour la prévention de ces maladies.

Les aliments fonctionnels contenant l'inuline se caractérisent par leurs effets bénéfiques sur l'organisme humain. Les effets induits par cette molécule sont divers. C'est une composante qui possède à la fois : les propriétés d'une fibre alimentaire et d'un prébiotique. Ce qui lui confère plusieurs avantages démontrés par de nombreuses études.

Ce glucide peut en effet :

- ✓ Stimuler sélectivement la croissance des bifidobactéries, qui inhibent le développement des bactéries nuisibles ;
- ✓ Stimuler le système immunitaire ;
- ✓ Stimuler la motilité colique ;
- ✓ Atténuer la constipation et augmente significativement la fréquence des selles ;
- ✓ Augmenter l'absorption des minéraux, particulièrement l'apport en calcium dans les tissus osseux ;
- ✓ Prévenir l'obésité, vu qu'elle réduit la prise alimentaire et l'accumulation de graisses ;
- ✓ Réduire le risque de maladie cardiovasculaire, grâce à ses effets bénéfiques sur les taux plasmatiques de cholestérol et de glucose ;
- ✓ Réduire le risque de cancer du côlon; les produits de fermentation de l'inuline inhibent la croissance des cellules cancéreuses du colon.

En plus de ses effets bénéfiques, l'inuline possède des caractéristiques physiques et chimiques uniques qui lui confèrent un large domaine d'utilisation dans les industries alimentaires et pharmaceutiques. Elle peut être utilisée :

- ✓ Comme véhicule d'administration de médicaments (administration ciblée de médicaments dans le côlon) ;
- ✓ Comme fibre alimentaire avec de nombreux avantages pour la santé ;
- ✓ Pour remplacer la graisse et prévenir les effets de l'abus de graisses sur la santé.

Hippocrate, il y a plus de deux mille ans disait « la nourriture est votre médicament, la médecine est votre nourriture », il avait raison. La consommation des aliments fonctionnels à base d'inuline offre un réel avantage vis-à-vis la santé humaine.

Conclusion

Enfin, après tout ce que nous venons d'aborder, nous proposons quelques perspectives :

- ✓ Davantage de travaux de recherche soient établis pour élaborer un plus grand nombre de combinaisons potentielles d'inuline, afin de développer de nouveaux aliments fonctionnels.
- ✓ Des recherches et des études cliniques plus détaillées sur les effets nutritionnels de l'inuline soient menées pour obtenir de nouvelles découvertes.
- ✓ Davantage de travaux de recherche soient menés afin de déterminer comment mieux utiliser les avantages de l'inuline comme moyen de traitement pour certaines maladies.

Références

bibliographiques

Références bibliographiques

- ▶ **Aachary AA et Prapulla SG, (2011)**, xylooligosaccharides (xos) en tant que prébiotique émergent : synthèse microbienne, utilisation, caractérisation structurale, propriétés bioactives et applications, comprehensive reviews in food science and food safety, vol 10, doi 10.1111/j.1541-4337.2010.00135.x
- ▶ **Abed SM, Ali AH, Noman A, Niazi S et al, (2016)**, inulin as prebiotics and its applications in food industry and human health; a review, international journal of agriculture innovations and research ,vol 5, (1), issn:2319-1473.
- ▶ **Afinjuomo F, Fouladian P, Parikh A, Thomas G et al, (2019)**, préparation et caractérisation de l'inuline oxydée hydrogel pour l'administration contrôlée de médicaments, pharmaceutique, 11, 356 ; doi : 10.3390/pharmaceutique11070356.
- ▶ **AFSSA, (2002)**, avenue du général leclerc, bp 19, 94701 maisons-alfort cedex. p 27-31
- ▶ **Aghajanpour M, Nazer MR, Obeidavi Z, Akbari M, et al, (2017)**, functional foods and their role in cancer prevention and health promotion: a comprehensive review, am j cancer res;7(4):740-769 , issn:2156-6976.
- ▶ **Ahmed W et Rashid S, (2017)**, potentiel fonctionnel et thérapeutique de l'inuline : une revue complète, critical reviews in food science and nutrition, doi : 10.1080/10408398.2017.1355775.
- ▶ **AHSG, (2019)**, réduire le fardeau des maladies chroniques. washington dc : l'institut d'aspen. <http://aspeninstitute.org/AHSGreport2019>.
- ▶ **Al-Sheraji SH, Ismail A, Manap MY, Mustafa S, Yusof RM et Hassan FA, (2013)**, prebiotics as functional foods: a review, journal of functional foods, 5(4), 1542–1553. doi:10.1016/j.jff.2013.08.009
- ▶ **Arai S, (2002)**, global view on functional foods: asian perspectives. british journal of nutrition, 88(s2), s139. doi: 10.1079/bjn2002678.
- ▶ **Arbex AK, Bizarro VR, Santos JCS, Araújo LMM et al, (2015)**, l'impact des acides gras essentiels (age) sur la santé humaine, ouvert journal des maladies endocriniennes et métaboliques, 5, 98-104. <http://dx.doi.org/10.4236/ojemd.2015.57013>.
- ▶ **Asagiri K, (2020)**, inuline : inuline, chirurgie et métabolisme / nutrition 54 rouleau 3.p160-161.

Références bibliographiques

- **Astley S, et Finglas P, (2016)**, nutrition and health. reference module in food science. doi:10.1016/b978-0-08-100596-5.03425-9.
- **Atlante A, Amadoro G, Bobba A et Latina V, (2020)**, functional foods: an approach to modulate molecular mechanisms of alzheimer's disease, cells, 9, 2347; doi:10.3390/cells9112347.
- **Barclay T, Ginic-Markovic M, Cooper P et Petrovsky N, (2010)**, inuline - un polysaccharide polyvalent avec de multiples utilisations chimiques pharmaceutiques et alimentaires, j. excipients et food chem. 1 (3), p 27-50.
- **Belorkar SA et Gupta AK, (2016)**, oligosaccharides: a boon from nature's desk. amb express, 6(1). doi: 10.1186/s13568-016-0253-5.
- **Bigliardia B et Galati F, (2013)**, innovation trends in the food industry: the case of functional foods. trends in food science & technology 31 page 118-129. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.03.006>.
- **Bikowska A, Szymaska I et Kowalska M, (2020)**, impact de l'ajout d'inuline sur les propriétés du yaourt naturel, applied sciences, 10, 4317 ; doi:10.3390/app10124317
- **Boclé JC, Champ M et Berta JL, (2005)**, les fibres alimentaires : déterminants physico-chimiques, définition, aspects analytiques et physiologiques, cah. nutr. diét, 40, 1.
- **Boeckner LS, Schnepf MI et Tunglund BC, (2001)**, inulin: a review of nutritional and health implications, advances in food and nutrition research ,vol 43 ,isbn: 0-12-016443-4.
- **Brasil JA, Dasilveira KC, Salgado SM, Livera AVS et al, (2011)**, effet de l'ajout d'inuline sur la nutrition, paramètres physiques et sensoriels du pain, revue brésilienne de sciences pharmaceutiques, vol. 47, n. 1, p 184-191.
- **Brosseau C, Selle A, Palmer DJ, Prescott SL et al, (2019)**, prébiotiques : mécanismes et effets préventif en allergie, nutriments, 11, 1841 ; doi : 10.3390/nu11081841.
- **Bruce J et Grattan Jr, (2013)**, stérols végétaux comme nutriments anticancéreux : preuves de leur rôle dans le cancer du sein, les nutriments, 5, 359-387 ;doi: 10.3390 / nu5020359.
- **Bruno-Barcena JM, Azcarate-Peril MA, (2015)**, galacto-oligosaccharides and colorectal cancer: feeding our intestinal probiome, journal of functional foods, vol 12, 92–108.

Références bibliographiques

- **Butnariu M et Sarac I, (2019)**, nourriture fonctionnelle, international journal of food sciences and nutrition, vol-3 numéro 3, p 7-16.
- **Campos vaz RT, Rodrigueslobo A, Cocato ML and Colli C, (2010)**, effects of consumption of inulin-type fructans on mineral intestinal absorption and balance in rats feeding control and iron deficiency diets, diets nutr araraquara, vol 21, n.1, p. 7-13, issn 0103-4235.
- **Cencic A et Chingwaru W,(2010)**, the role of functional foods, nutraceuticals, and food supplements in intestinal health. nutrients, 2(6), 611–625. doi:10.3390/nu2060611.
- **Chaito C, Judprasong K et Puwastien P, (2016)**, inulin content of fortified food products in thailand. food chemistry, 193, 102–105. doi:10.1016/j.foodchem.2014.10.140.
- **Chen ZY, Peng C, Jiao R, Wong YM et al, (2009)**, anti-hypertensive nutraceuticals and functional foods, journal of agricultural and food chemistry, 57(11), 4485–4499. doi:10.1021/jf900803r.
- **Chen G, Wang H, Zhang X et Yang ST, (2014)**, nutraceuticals and functional foods in the management of hyperlipidemia, critical reviews in food science and nutrition, 54(9), 1180–1201. doi:10.1080/10408398.2011.629354.
- **Corzo N, Alonso JL, Azpiroz F, Calvo MA et al, (2015)**, prébiotiques ; concept, propriétés et effets bénéfiques, nutrhosp. 31 (suppl. 1) : 99-118.
- **Davani-Davari D, Negahdaripour M, Karimzadeh I, Seifan M et al, (2019)**, prébiotiques :definition, types, sources, mechanisms, and clinical application, foods, 8(3), 92. doi: 10.3390/foods8030092.
- **De Luis DA, De la Fuente B, Izaola O, Conde R et al, (2010)**, randomized clinical trial with a inulin enriched cookie on risk cardiovascular factor in obese patients,” nutricion hospitalaria, 25(1) :53-59.
- **Dehghan P, Gargari BP et Asgharijafarabadi M, (2013)**, effects of high performance inulin supplementation on glycemic status and lipid profile in women with type 2 diabetes: a randomized, placebo-controlled clinical trialn, health promot perspect ; 3(1) : 55-63.
- **Desmawati D et Sulastri D, (2019)**, les phytoestrogènes et leur effet sur la santé, journal macédonien des sciences médicales ,7 (3) : 495-499. doi.org/10.3889/oamjms.2019.086.

Références bibliographiques

- **Dong Y, Hao S, Yang W, Shuang Ma *et al*, (2019)**, l'effet de l'inuline sur la durée de vie, l'expression des gènes associés et le microbiote intestinal chez *inrp5545/tm3* mutant *drosophila melanogaster*: une étude préliminaire, *nutriments*, 11, 636 ; doi : 10.3390/nu11030636.
- **Dorneles IMP, Fucks MB , Fontela PC , Frizzo MN *et al*, (2018)**, guarana (*paullinia cupana*) presents a safe and effective anti-fatigue profile in patients with chronic kidney disease: a randomized, double-blind, three-arm, controlled clinical trial, *journal of functional foods*, 51, 1–7. doi:10.1016/j.jff.2018.10.004.
- **Doyon M, Labrecque J *et Tamini LD*, (2006)**, le secteur des aliments fonctionnels : revue des principales tendances, *centre de recherche en économie agroalimentaire isbn 2-922378-55-1*.
- **Duggan C, Gannon J *et Walker WA*, (2002)**, protective nutrients and functional foods for the gastrointestinal tract, *the american journal of clinical nutrition*, 75(5), 789–808. doi:10.1093/ajcn/75.5.789 .
- **Eldahshan OA *et Singab ANB*, (2013)**, caroténoïdes, *journal de pharmacognosie et phytochimie*, vol. 2 n °1, issn 2278- 4136.
- **Ferrari CKB *et Torres EAFS*, (2003)**, biochemical pharmacology of functional foods and prevention of chronic diseases of aging, *biomedicine & pharmacotherapy*, 57(5-6), 251–260. doi : 10.1016/s0753-3322(03)00032-5
- **Ferry M, (2012)**, les oligoéléments et les minéraux, *nutrition de la personne âgée*, p81-89.
- **Franck A, (2002)**, technological functionality of inulin and oligofructose, *british journal of nutrition*, 87(s2), s287. doi:10.1079/bjn/2002550.
- **GAO, (2000)**, improvements needed in overseeing the safety of dietary supplements and functional foods, report to congressional committees, washington dc: general accounting office.
- **Gibson GR *et Delzenne N*, (2008)**, inulin and oligofructose, *nutrition today*, vol 43 ,(2),54-59.
- **Glibowski P *et Bukowska A*, (2011)**, l'effet du ph, de la temperature et temps de chauffage sur inuline stabilité chimique, *acta sci pol, technol. aliment* ,189-196, issn 1889-9594.

Références bibliographiques

- **González-Herrera SM, Herrera RR, López MG, Rutiaga OM *et al*, (2015)**, inulin in food products: prebiotic and functional ingredient, *british food journal*, 117(1), 371–387. doi: 10.1108/bfj-09-2013-0238.
- **Hamer M, Owen G et Kloek J ,(2005)**, the role of functional foods in the psychobiology of health and disease, *nutrition research reviews* (18): 77–88. doi: 10.1079/nrr2005103.
- **Hao H, Ma R, Yu W, Yang X *et al*, (2019)**, étude sur l'effet de l'inuline sur l'amélioration de la santé intestinale, *sciences de l'alimentation et de la nutrition*, 8(3) : 175-179. doi : 10.12677/hjfn.2019.83022.
- **Homayouni-Rad A, Delshadian Z, Arefhosseini SR, Aliverser B et Jafarabadi MA, (2012)**, effet de l'inuline et de la stevie sur certaines propriétés physiques de lait au chocolat, *perspectives de la promotion de la santé*, vol. 2, n° 1, p 42-47.
- **Hosseinvand A et Sohrabvandi S, (2016)**, évaluation physicochimique, texturale et sensorielle d'une formulation de sauce moutarde allégée en matières grasses préparée avec de l'inuline, de la pectine et du β -glucane, *journal croate des sciences et technologies alimentaires*, 8 (2), 46-52. doi:10.17508/cjfst.2016.8.2.01.
- **Hovdenak N et Haram K, (2012)**, influence of mineral and vitamin supplements on pregnancy outcome, *European journal of obstetrics & gynecology and reproductive biology* 164, 127–132.
- **Huan X, Aibiao Z et Hualin W, (2020)**, progrès de la recherche sur les fonctions physiologiques de l'inuline prébiotique, *sciences de l'alimentation et de la nutrition*, 9(3) : 229-235. doi : 10.12677/hjfn.200.93030.
- **Hume ME, (2011)**, historic perspective:prebiotics, probiotics, and other alternatives to antibiotics, *poultry science*, 90(11), 2663–2669. doi:10.3382/ps.2010-01030.
- **Jacela JY, De Rouchey JM, Tokach MD, Goodband RD *et al*, (2010)**, conseil pratique évalués par les pairs additifs alimentaires pour porcs : fiches d'information – prébiotiques et probiotiques et phytogéniques, *j swine health prod*, 18(3) :132–136.
- **Jenkins DJA, Kendall CWC et Vuksan V, (1999)**, inuline, oligofructose et fonction intestinale, *société américaine des sciences de la nutrition*, p 1431-1433.

Références bibliographiques

- **Karimi R, Azizi MH, Ghasemlou M et Vaziri M, (2015)**, application de l'inuline dans le fromage comme prébiotique, substitut de graisse et texturant : une revue, polymères de glucides, 119, 85-100. doi:10.1016/j.carbpol.2014.11.029.
- **Kaur N et Gupta AK, (2002)**, applications de l'inuline et de l'oligofructose dans la santé et la nutrition, indian academy of science, vol. 27, no. 7,703–714.
- **Kazeem MI et Davies TC, (2016)**, anti-diabetic functional foods as sources of insulin secreting, insulin sensitizing and insulin mimetic agents, journal of functional foods, 20, 122–138. doi:10.1016/j.jff.2015.10.013
- **Keenan DF, Resconi VC, Kerry JP et Hamill RM, (2014)**, modelling the influence of inulin as a fat substitute in comminuted meat products on their physico-chemical characteristics and eating quality using a mixture design approach, meat science, 96(3), 1384–1394. doi:10.1016/j.meatsci.2013.11.025.
- **Kojima Y, Yoshikawa Y, Yasui H et Ogura T, (2012)**, agave et inuline de chicorée comme activateurs de l'absorption minérale, journal ffi, volume 217, n° 1, p 60-66.
- **Konstantinidi M et Koutelidakis AE, (2019)**, functional foods and bioactive compounds: a review of its possible role on weight management and obesity's metabolic consequences, medicines, 6, 94; doi:10.3390/medicines6030094.
- **Lau TC, Chan MW, Tan HP et Kwek CL, (2013)**, functional food: a growing trend among the health conscious, asian social science; vol. 9, no. 1, doi:10.5539/ass.v9n1p198.
- **Lingyun W, Jianhua W, Xiaodong Z, Da T et al, (2007)**, studies on the extracting technical conditions of inulin from jerusalem artichoke tubers, journal of food engineering, 79(3), 1087–1093. doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.03.028.
- **López-Varela S, González-Gross M et Marcos A, (2002)**, functional foods and the immune system: a review, european journal of clinical nutrition, 56(s3), s29–s33. doi:10.1038/sj.ejcn.1601481
- **Machuca LM, Rodriguez YE, Meneguini DEG, Bruzzo ME et al, (2015)**, production et évaluation sensorielle de nouveaux fromages à base de substances prébiotiques : inuline et oligofructose, sciences de l'alimentation et de la nutrition, 6, 1489-1495. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2015.616153>

Références bibliographiques

- ▶ **Markowiak P et Iżewska K, (2017)**, effets des probiotiques, des prébiotiques et des symbiotiques sur la santé humaine, *nutriments*, 9, 1021 ; doi:10.3390/nu9091021.
- ▶ **Martirosyan DM et Singh J, (2015)**, une nouvelle définition des aliments fonctionnels par ffc : qu'est-ce qui rend une nouvelle définition unique ?, *aliments fonctionnels dans la santé et la maladie* 2015 ; 5(6) :209-223.
- ▶ **Mastromatteo M, Iannetti M, Civica V, Sepielli G et Nobile MA, (2012)**, effet de l'ajout d'inuline sur les propriétés des pâtes sans gluten, *sciences de l'alimentation et de la nutrition*, 3, 22-27.
- ▶ **Mauro MO, Monréal MTFD, Silva MTP, Pesarini JR et al, (2013)**, évaluation des effets antimutagènes et anticancérogènes de l'inuline in vivo, *génétique et recherche moléculaire* 12 (3) : 2281-2293.
- ▶ **Mhetras N, Mapre V et Gokhale D, (2019)**, les xylooligosaccharides (xos) en tant que prébiotiques émergents : sa production à partir de matériau lignocellulosique, *progrès de la microbiologie*, 9, 14-20.
- ▶ **Moghimipour E et Handali S, (2015)**, saponin: properties, methods of evaluation and applications, *annual research & review in biology* 5(3): 207-220,
- ▶ **Mutlu B, Güler-Akyn, Ferliarslan I et Akyn MS, (2016)**, yaourt à boire probiotique à l'abricot, fourni avec de l'inuline et des fibres d'avoine, *avancées en microbiologie*, 6, 999-1009,
- ▶ **Oliveira Haully MC et Moscatto JA, (2002)**, inuline et oligofructose : une revue des propriétés fonctionnelles, effets prébiotiques et importance pour l'industrie alimentaire, *semina : sciences exactes et technologie, londrina*, v. 23, p. 105-118,
- ▶ **OMS, (2003)**, régime alimentaire, nutrition et prévention des maladies chroniques : rapport d'une consultation oms/fao d'experts, Genève : organisation mondiale de la santé <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42754>.
- ▶ **Öztürk B et Serdaroğlu M, (2017)**, a rising star prebiotic dietary fiber: inulin and recent applications in meat products, *journal of food and health science* e-issn: 2149-0473 3(1): 12-20 ,doi: 10.3153/jfhs17002.
- ▶ **Panche UNE, Diwan AD et Chandra SR, (2016)**, flavonoïdes : un aperçu, *journal of nutritional science* vol 5(47),doi: 10.1017 / jns.2016.41.

Références bibliographiques

- ▶ **Phillips G et Williams P, (2009)**, handbook of hydrocolloids, woodhead publishing, 830-848, 2nd edition, isbn: 9781845695873.
- ▶ **Qamar T, Syed F, Nasir M, Rehman H et al,(2016)**, novel combination of prebiotics galacto-oligosaccharides and inulin-inhibited aberrant crypt foci formation and biomarkers of colon cancer in wistar rats, nutrients, 8(8), 465. doi: 10.3390/nu8080465.
- ▶ **Roberfroid M.B, (1995)**, dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics, j nutr, 125, 1401-12.
- ▶ **Roberfroid MB, (1999)**, caloric value of inulin and oligofructose, american society for nutritional science, p1436-1437.
- ▶ **Roberfroid MB, (2002)**, global view on functional foods: european perspectives, british journal of nutrition, 88(s2), s133, doi: 10.1079/bjn2002677.
- ▶ **Roberfroid MB, (2002)**, functional food concept and its application to prebiotics, digest liverdis; 34suppl.2:s105-s110.
- ▶ **Salminen S, Wright AV, Morelli L, Marteau P, et al, (1998)**, Demonstration of safety of probiotics — a review, International Journal of Food Microbiology, 44(1-2), 93–106. doi:10.1016/s0168-1605(98)00128-7.
- ▶ **Scott KP, Grimaldi R, Cunningham M, Sarbini SR et al, (2018)**, développements dans la compréhension et l'application des prébiotiques dans la recherche et la pratique - un document de conférence isapp, doi : 10.1111/jam.14424.
- ▶ **Shahidi F, (2006)**, functional foods: their role in health promotion and disease prevention, journal of food science, 69(5), r146–r149. doi:10.1111/j.1365-2621.2004.tb10727.x.
- ▶ **Shubhangi S, Khanvil KAR, Shalini S et Arya, (2015)**, fructooligosaccharides: applications and health benefits- a review,nm parikh marg, matunga, mumbai, 400 019, india
- ▶ **Singh RS et Singh RP, (2010)**, fructooligosaccharides from inulin as prebiotics, food technol, biotechnol, 48 (4) 435–450.
- ▶ **Siró I, Kápolna E, Kápolna B et Lugasi A, (2008)**, Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review, Appetite, 51(3), 456–467. doi:10.1016/j.appet.2008.05.060.

Références bibliographiques

- **Slavin J, (2013)**, fibres et prébiotiques : mécanismes et bienfaits pour la santé, *nutriments*, 5, 1417-1435 ; doi : 10.3390/nu5041417
- **Sousa VMC, Dos Santos EF et Sgarbieri VC, (2011)**, l'importance des prébiotiques dans les aliments fonctionnels et la pratique clinique, *sciences de l'alimentation et de la nutrition*, 2, 133-144
- **Souza MCC, Lajolo FM, Araujo LM, Correa NB, Dan MC et Menezes EW, (2010)**, effet de l'inuline enrichie en oligofructose sur le métabolisme osseux chez les filles à faible apport en calcium, *archives brésiliennes de biologie et technologie*, vol.53, n. 1 : pp. 193-201, issn 1516-8913.
- **Stephen A M, Phillips G O, Williams PA,(2006)**, food polysaccharides and their applications, 2nd edition ,taylor & francis group, 347-350, isbn :10: 0-8247-5922-2.
- **Tanaka A, (2013)**, remplacement des graisses par de l'inuline de fibres alimentaires, *journal de la société japonaise des sciences du conditionnement*, volume 46, n° 4, 312-313.
- **Tuohy KM, Rouzaud GCM, Brück WM et Gibson GR, (2005)**, modulation de la microflore intestinale humaine vers une meilleure santé à l'aide de prébiotiques - évaluation de l'efficacité, *conception pharmaceutique actuelle*, 11, 75-90.
- **Tymczyszyn EE, Santos MI, Costa MC, Illanes A et Gómez-Zavaglia A, (2014)**, history, synthesis, properties, applications and regulatory issues of prebiotic oligosaccharides, *carbohydrates applications in medicine*,p 127-154.
- **Yousefi M, Asadollahi S et Hosseini E, (2018)**, étude des effets de l'inuline en tant que substitut de graisse à base de glucides sur les propriétés rhéologiques et sensorielles de la crème uht, *revue internationale de recherche biologique et biomédicale avancée*,6(2), 87-94.
- **Zeng Y, Yang J, Du J, Pu X et al, (2015)**, strategies of functional foods promote sleep in human being, *current signal transduction therapy*, 9(3), 148–155, doi: 10.2174/1574362410666150205165504.
- **Zeng Y, Zhang J, Zhang Y, Men Y et al, (2018)**, prebiotic, immunomodulating, and antifatigue effects of konjac oligosaccharide, *journal of food science*, doi:10.1111/1750-3841.14376.

Résumé

Les maladies chroniques deviennent des causes de plus en plus grandes de décès dans le monde. Les aliments fonctionnels, en particulier ceux qui contiennent de l'inuline peuvent être un moyen de prévention pour lutter contre toutes ces affections. Dans notre travail, nous sommes intéressés à ces aliments, afin de déterminer dans quelle mesure, ils peuvent aider à la sauvegarde de la santé humaine. D'après nos recherches bibliographiques, nous sommes en état d'affirmer que l'inuline possède plusieurs avantages, que ça soit d'un point de vue santé : en réduisant le risque de plusieurs types de maladies chroniques, ou de son utilisation dans l'industrie alimentaire (intérêt technologiques).

Mots clé : maladies chroniques, prévention, aliments fonctionnels, inuline.

Summary

Chronic diseases are becoming an increasing cause of death in the world. Functional foods, especially those containing inulin, can be a means of prevention to fight against all these diseases. In our work, we are interested in these foods, in order to determine to what extent they can help to safeguard human health. According to our bibliographic research, we are able to affirm that inulin has several advantages, both from a health point of view, by reducing the risk of several types of chronic diseases, and from its use in the food industry (technological interest).

Keywords: chronic diseases, prevention, functional foods, inulin.

ملخص

أصبحت الأمراض المزمنة سبباً رئيسياً بشكل متزايد للوفاة في جميع أنحاء العالم، ويمكن أن تكون الأطعمة الوظيفية، وخاصة تلك التي تحتوي على اللابكتين، إجراءً وقائياً في جميع هذه الحالات. في عملنا، نهتم بهذه الأطعمة، من أجل تحديد إلى أي مدى يمكن أن تساعد في حماية صحة الإنسان. وفقاً لأبحاثنا البيولوجية، يمكننا أن نؤكد أن للابكتين مزايا عديدة، سواء من الناحية الصحية، من خلال تقليل مخاطر الإصابة بعدة أنواع من الأمراض المزمنة، أو من استخدامه في صناعة الأغذية (الاهتمام التكنولوجي).

الكلمات المفتاحية: الأمراض المزمنة، وقاية، أغذية وظيفية، أنولين.