

N° d'Ordre :

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE

Mémoire

De fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la nature et de la vie (S.N.V.)

Filière : Sciences alimentaires

Spécialité : Biochimie de la Nutrition

Intitulé du thème :

L'effet de l'inuline du topinambour (*Helianthus tuberosus*)
d'Algérie sur les ferments lactiques du fromage (type
camembert)

Présenté par

Mr KADARI Imad Eddine Soheib

Melle ZELLIT Rania Soumia

Mémoire soutenu devant l'honorable jury composé de :

Président de jury : Mr	BENABDERREHMEN Mokhtar	(M.C.A/ UDL/SBA)
Examineur : Mme	MEHIDA Hayet	(M.C.A/ UDL/SBA)
Promoteur : Mme	DEMMOUCHE Abbassia	(Professeur/ UDL/SBA)

Année universitaire 2019 - 2020

Session : « Septembre »

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu, celui qui donne puissance, honneur et considération et qui nous a donné la force, la patience et la volonté de réaliser et d'accomplir ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements et témoignons notre immense gratitude à Monsieur BENALI M, professeur à l'université de Sidi Bel Abbés faculté SNV pour son immense gentillesse de bon père de famille. Ce faisant, vous nous avez donné, Monsieur le Professeur, l'occasion de découvrir votre immense savoir en même temps que votre simplicité, votre grande modestie et votre précieuse et grande disponibilité Merci monsieur Merci beaucoup ! Repose en paix. C'est avec une profonde tristesse nous adressons à sa famille toutes nos condoléances à tous ses proches : famille, amis, collègues, etc....

Nous tenons à remercier sincèrement notre maître de mémoire, Madame DEMMOUCHE A , Professeur à l'Université de Sidi Bel Abbés Faculté des sciences de la nature et de la vie Département de Biologie, nous vous remercions pour votre écoute, votre patience, vos remarques avisées, ainsi que pour nous avoir formé et accompagné tout au long de cette période avec beaucoup de patience et de pédagogie, nous sommes très sensible à l'honneur que vous nous avez fait en acceptant de compléter ce travail malgré vos multiples engagements.. Vous êtes le modèle de dames qui honorent notre pays et dont il a besoin. Veuillez trouver ici, l'assurance de nos sincères reconnaissances et de nos profondes admirations. Hommages respectueux

Nos remerciements vont ensuite à l'ensemble des membres du jury. Nous remercions, également Me BENABDERAHMEN.M de nous avoir fait l'honneur de présider notre jury. Et pour l'intérêt précieux et l'attention que vous avez portée à ce projet. Nous tenons à exprimer nos sincères gratitude et nos chaleureux remerciements. Nous remercions vivement Mme MEHIDA.H pour nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail.

Nous tenons tout particulièrement à remercier Monsieur Nacer le responsable de la bibliothèque de la faculté des sciences de la nature et de la vie pour sa disponibilité et ses efforts.

Vifs remerciements Au personnel et aux cadres de Giplait - Sidi-Bel-Abbès et spécialement à :

M. Le Directeur général de Giplait

M. FIDOUH.A. Directeur du laboratoire de physicochimie et de microbiologie.

L'ensemble du personnel du laboratoire de physicochimie et de microbiologie

Sincères remerciement à tous les responsables de laboratoire, de microbiologie appliquée, au sein de la faculté des sciences de la nature et de la vie, de l'Université DJILLALI LIABES de Sidi Bel Abbès.

Je souhaite personnellement remercier mon binôme et ami Mr Kadari Imad Eddine, avec lequel j'ai pris beaucoup de plaisir à travailler. Nous avons formé une belle équipe, je te remercie donc pour tout ce que tu m'as apporté au cours de ce travail. Enfin, j'aimerais remercier ma famille pour leur soutien, leur amour et leur encouragement à toute épreuve. Plus particulièrement ma maman et ma sœur pour leur compréhension et leur motivation.....

Rania

DEDICACES

Louanges à ALLAH, de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire " Ya Kayoum "

Je dédie ce modeste travail

A vous, Monsieur Benali....

Deux mois après, il me semble toujours aussi difficile d'admettre la nouvelle. Comment un homme comme lui est-il parti si tôt ? Il est parti trop vite, sans que l'on puisse lui dire adieu, Ce professeur faisait ses cours dans la bonne humeur. Il nous faisait toujours rire, c'était un prof qui était toujours souriant, gentil, Il était à vrai dire parfait,

Je suis très peiné par ce décès, je crois bien que ce décès nous a tous choqué car c'était un prof qui était beaucoup aimé par tous les étudiants

Il fut l'une de mes plus heureuses rencontres à l'université. J'ai eu la chance de suivre ses cours passionnés et passionnants durant mon cursus, c'était quelqu'un d'ouvert... Il était bienveillant et lumineux face à ses étudiants, un homme de science plein d'humanité

Quand j'ai appris cette triste nouvelle j'étais comment dire... Je n'avais pas de mot je ne savais pas. La personne qui me l'a dit me mentait ou elle disait la vérité ? Même à l'instant je n'arrive pas à y croire je n'imaginais que Monsieur BENALI était décédé, Il aura toujours une place dans ma mémoire.

Rabbi Yerhmak monsieur BENALI repose en paix.

C'est avec une profonde émotion que j'adresse à sa famille toutes mes condoléances à tous ses proches : famille, amis, collègues, etc....

A mon ange de papa qui a laissé un grand néant dans ma vie...

Combien j'aurais aimé que tu sois là, Pour te sentir m'admirer, durant ma soutenance

Pour te donner une cause de fierté, te faire plaisir, te voir exulter de mon succès, te donner un instant de bonheur... te rendre fière... Merci pour tout mon Père Je t'aime d'un amour éternel Merci Papa, aujourd'hui, je marche sur tes pas de miel repose en paix papa d'amour...

A ma maman chérie

Qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite, qui m'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui prêter longue vie et beaucoup de santé Merci pour tous les sacrifices que tu as fait pour moi maman je t'aime.

A ma grand-mère paternelle

A la mémoire de la grande dame qui a tant sacrifié pour nous

A ma sœur chérie chahinez et mon sucre d'orge de frère Mohamed pour leur affection et leur soutien morale vous restez être mes seules attaches. Que Dieu nous garde et nous protège...

A vous mes meilleurs amis Khadija, Amina, Djouhaina, Nabil et Abdeljalil

A tous les membres de ma famille, petits et grands, veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection

Rania

Dédicace

A mes chers parents, et mes deux sœur hind et sarah pour ses encouragements, ses tendresses ainsi que ses nombreux sacrifices que Dieu les garde.

A vous Mr. BENALI-Mohammed

*Un des hommes les plus Éclairés, les plus nobles, les plus généreux.
Que dieu bénisse son âme comme preuve de reconnaissance de la part de ses élèves, puisse dieu le tout puissant l'avoir en sa sainte miséricorde Allah Yarhmak.*

Je tiens à remercier aussi mon binôme Rania.

A mes très chères amis Ali, Mouad et Asma et l'ensemble de mes collègues de biochimie de la nutrition -2020-.

A tous ceux que j'aime.

K. IMAD

Le résumé

Le Topinambour Helianthus tuberosus L., connu par sa composition importante en inuline (prébiotique) utilisé pour alimenter les probiotiques pour le microbiote intestinal (régulation efficace du transit intestinal)

Les produits qui contiennent à la fois des probiotiques et des prébiotiques sont appelés symbiotiques, ces produits peuvent modifier la composition de la microflore interne, avec des effets bénéfiques sur le corps humain

L'objectif de cette étude est de déterminer l'effet de ce prébiotique (inuline) sur la croissance bactérienne lors de la fabrication d'un lait fermenté type camembert à la laiterie de GIPLAIT. La croissance naturelle des bactéries lactiques du lait a été comparée entre deux milieux : un milieu naturel favorisant leur culture et un autre milieu en ajoutant des concentrations croissantes de topinambour (inuline) 1%, 2%, 3% respectivement à un volume de lait, le contrôle consiste de suivre l'évolution des Streptococcus thermophilus.

Les résultats obtenus ont montré une évolution progressive par addition d'inuline. La différence la plus élevée a été enregistrée pour l'échantillon additionné de 1% d'inuline, le nombre de streptococcus thermophilus a augmenté de 13×10^5 UFC/ml en une semaine (7 jours), atteignant 31.4×10^5 UFC/ml.

En conclusion, on peut dire et sans doute que l'inuline exerce une action prébiotique. En favorisant la croissance des bactéries lactiques.

Mot clés : *inuline, topinambour, Prébiotique, Croissance bactérienne, Streptococcus thermophilus*

Abstract

The Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) L 1753 (Fam.Asteraceae) is known by its high inulin composition (prebiotic) Used to supply probiotics for the intestinal flora (effective regulation of intestinal movement).

Products that contain both probiotics and prebiotics are called symbiotics, these products can change the composition of the internal microflora, with beneficial effects on the human body.

The objective of the following research is to seek the effect of this prebiotic (inulin) on bacterial growth during the production of fermented camembert-type milk at the GIPLAIT dairy. Our aim was making a comparative study between two samples of lactic acid bacteria in milk where in one of them increasing concentrations of Jerusalem artichoke (inulin) 1% 2% 3% respectively was added to a volume of milk; the control consisted to follow the evolution of *Streptococcus thermophilus*.

The results that was obtained showed a progressive evolution by adding inulin. The highest difference was recorded for the sample supplemented with 1% inulin, the number of *Streptococcus thermophilus* increased by 13×10^5 UFC/ml in just 7 days, reaching 31.4×10^5 UFC/ml.

In conclusion, we confirmed that inulin exerts a probiotic action by developing the growth of lactic bacteria.

Key word: Inulin - Jerusalem artichoke - Prebiotic - Bacterial growth - *Streptococcus thermophilus*.

الملخص

خرشوف القدس L 1753 ، المعروف بتكوينه الكبير من سكر الإنولين (البريبايوتيك) المستخدم لتزويد البروبيوتيك للجراثيم المعوية (تنظيم فعال لحركة الأمعاء).

تسمى المنتجات التي تحتوي على كل من البروبيوتيك والبريبايوتكس بالتعايش ، ويمكن أن تغير هذه المنتجات من تكوين البكتيريا الداخلية ، مع إحداث تأثيرات مفيدة على جسم الإنسان.

كان الهدف المبتغي من البحث هو دراسة تأثير هذا البريبايوتك (سكر الإنولين) على نمو البكتيريا أثناء إنتاج حليب كاممبرت المخمر في منتجات الألبان ، بهدف إجراء دراسة طريقة مقارنة بين النمو الطبيعي لبكتيريا حمض اللاكتيك في الحليب في وسط ملائم لزراعتها ، و الطريقة أخرى هي بإضافة تراكيزات متزايدة من خرشوف القدس (سكرالإنولين) 1% 2% 3% على التوالي إلى حجم الحليب ، حيث يكون التحكم من خلال مراقبة تطور المكورات العقدية الحرارية.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها تطورًا تدريجيًا بإضافة سكر الإنولين ، حيث تم تسجيل أعلى فرق للعينة المكتملة بـ 1 % من سكر الإنولين ، ارتفع عدد المكورات العقدية الحرارية بمقدار 13 ufc /ml في 7 أيام فقط ، لتصل إلى $10^5 \times 31.4$ ufc/ml بعد ذلك.

و في الختام ، يمكننا تأكيد بأن الإنولين يقوم بعمل بروبيوتيك من خلال تعزيز نمو بكتيريا اللاكتيك.

الكلمات المفتاحية :

إنولين - خرشوف القدس - بريبيوتيك - نمو جرثومي ، العقدية الحرارية.

Liste des figures :

Figure 01 : Dessins botaniques de <i>H.tuberosus</i> revient au début du XVIIe siècle par: (a) Colonna 1616, (b) Lauremberg 1632, (c) Parkinson 1640.....	6
Figure 02 : Tubercule du topinambour.....	8
Figure 03 : Partie aérienne du topinambour	8
Figure 04 : Distribution de topinambour dans le monde.....	9
Figure 05 : Représentation graphique de la composition biochimique moyenne d'un tubercule de topinambour. Les valeurs sont exprimées en pourcentage de la matière fraîche totale	10
Figure 06 : Arbre phylogénétique des bactéries lactiques (d'après Axelsson, 1998)	16
Figure 07 : a/b. <i>Lactobacillus helveticus</i> observé au microscope électronique à transmission (M.E.T.) (x10000)	19
Figure 08 : Représentation schématisée des principales voies de fermentation des hexoses chez les bactéries lactiques. ATP : adénosine triphosphate ; ADP : adénosine di phosphate ; NAD ⁺ / NADH, H ⁺ : Couple oxydant/réducteur du nicotinamide adénine di nucléotide ; Pi : phosphate inorganique.....	21
Figure 09 : Séquence et structure de l'antibiotique de type A (Nisine), B (Mersacidine) et d'un antibiotique « two-peptides » (Lacticine 3147 A1 et A2)	28
Figure 10 : Fromage à pâte molle « camembert »	34
Figure 11 : les valeurs nutritionnelles pour une portion de 100 grammes de camembert	34
Figure 12 : Localisation des différentes fibres au sein de la paroi cellulaire végétale.....	46
Figure 13 : Typologie des fibres alimentaires sur la base de leurs propriétés fonctionnelles.	47
Figure 14 : Aliments à base végétal riches en fibres alimentaires.....	48
Figure 15 : Principales unités impliquées dans la structure de la lignine	53
Figure 16 : Fragment (unité répétitive) d'une chaîne de cellulose.....	54
Figure 17 : Structure du lactulose	64
Figure 18 : Fructo-oligosaccharides (FOS)	65
Figure 19 : Inuline	65
Figure 20 : Galacto-oligosaccharides humains naturels du lait maternel	66
Figure 21 : poudre de l'inuline.....	72
Figure 22 : Structure chimique de l'inuline.....	72
Figure 23 : Réaction générale des enzymes de type glycoside hydrolase en fonction du site d'hydrolyse, les glycosides hydrolases sont classés dans le groupe des exo-hydrolases ou des endo-hydrolases.....	74
Figure 24 : Sites de coupure des exo-hydrolase et des endo-hydrolase	74

Figure 25 : Sites de coupures des endos et des exo-inulinase	75
Figure 26 : Schéma du mécanisme catalytique de l'exo-inulinase d' <i>Aspergillus awamori</i>	76
Figure 27 : L'unité GIPLAIT Sidi Bel Abbès.....	79
Figure.28 : Procédures de préparation de la poudre d'inuline à partir du tubercule de topinambour (d'après K. KHUENPET et AL.2016)	80
Figure 29 : Les ferments utilisés par l'unité Giplait.....	81
Figure 30 : Un échantillon de lait pris depuis l'unité GIPLAIT	82
Figure 31 : Addition de poudre de topinambour avec des concentrations croissantes.....	82
Figure 32 : Un test de la température de dissolution de la poudre dans le lait	83
Figure 33 : la mesure du pH du lait à l'aide d'un pH mètre	84
Figure 34 : les dilutions décimales	85
Figure 35 a.b : ensemencement en surface sur des géloses MRS.....	85
Figure 36 : Etalonnage à l'aide d'un étaleur stérile forme L.....	85
Figure 37 : Effets d'inuline de topinambour utilisées à 1%, 2%, et 3% par rapport à un témoin sans inuline sur la cinétique d'acidification du lait en fermentation par les <i>Streptococcus thermophilus</i> à 37°C.....	88
Figure 38 : Colonies de <i>Streptococcus thermophilus</i> ensemencé sur le milieu MRS et incubé pendant 72h	89
Figure 39 : Cinétique de croissance et de viabilité au cours de fermentation et de stockage à 6°C de <i>Streptococcus thermophilus</i> en absence (témoin) ou en présence de 1%, 2 %, et 3% d'inuline de topinambour	91

Liste des tableaux :

Tableau 01 : Composition de tubercule de topinambour en minéraux et oligo-éléments	11
Tableau 02 : Composition de tubercule de topinambour en vitamines	11
Tableau 03. Principales caractéristiques biologiques et métaboliques des bactéries lactiques	17
Tableau 04. Principaux genres de bactéries lactiques (MATAMOROS, 2008)	20
Tableau 05. Séquence de quelques bactériocines de classe II	29
Tableau06 : Teneur en protéines pour 100 grammes de camembert	35
Tableau 07 : Teneur en lipides pour 100 grammes de camembert	35
Tableau 08 : Teneur en glucides pour 100 grammes de camembert	37
Tableau 09 : valeur énergétique pour 100 grammes de camembert	37
Tableau 10 : Teneur en vitamines et assimilés	37
Tableau 11 : Minéraux et oligo-éléments.....	38
Tableau 12 : Autres constituants	38
Tableau 13 : Aperçu des principaux prébiotiques.....	60
Tableau 14 : Bénéfices nutritionnels des prébiotiques.....	61
Tableau 15 : Propriétés technologiques des prébiotiques	62
Tableau 16. Plantes riches en inulines.....	73
Tableau 17 : Evolution du pH obtenu pour les 4 échantillons au cours de la fermentation du lait,et la vitesse d'acidification ($\Delta pH / \Delta t$ en h^{-1}) en absence (témoin) et en présence de différentes concentrations d'inuline de topinambour durant 21 jours	87
Tableau 18 : Nombre de colonies et la vitesse spécifique maximale de croissance des <i>Streptococcus thermophilus</i> en absence (témoin) et en présence de différentes concentrations d'inuline durant 21 jours.....	90

Liste des abréviations :

AA : Acide arachidonique

ADN : acide désoxyribonucléique

ADP : adénosine diphosphate

AGCC : acides gras à chaîne courte

AGV : acides gras volatils

Anses : Agence nationale de sécurité sanitaire

ANZFA : L'Autorité australienne des aliments pour la Nouvelle-Zélande

AOAC: Association of Analytical Chemists

AOC : Appellation d'Origine Contrôlée

AOP : Appellation d'Origine Protégée

AR : Amidon résistant

ATP: adénosine triphosphate

C : carbone

C : Cytosine

Ca : calcium

CAC: La Commission du Codex Alimentarius

CDAI : L'Index d'activité de la maladie de Crohn

CH₄ : le méthane

CMC : carboxyméthylcellulose

CO₂ : Dioxyde de carbone

COMA : le comité sur les aspects médicaux de la politique alimentaire nutritionnelle

D : dextrogyre

DHA : Acide docosahexaénoïque

Liste des abréviations

DHAP : dihydroxyacétone-phosphate

DTPA : L'acide diéthylènetriamine penta acétique

E. Coli : Escherichia coli

EAR : équivalents d'activité du rétinol

EC : Enzyme Commission

ECR : essais cliniques contrôlés et randomisés

EDTA :Éthylènediaminetétraacétique

EFA : Equivalents de folate alimentaire

EMP : Embden-Meyerhoff- Parnas

F : fructose ;

FA: Fibre Alimentaire

FAO: Food and Agriculture Organization

FBA : fructose-1,6-bisphosphate aldolase

FBP : fructose-1,6-bisphosphate aldolase

Fe : fer

FEHs : fructane exohydrolases

FOS : les fructo-oligosaccharides

G : glucose

G : Guanine

g: gramme

Gal : galactose

GAP : glycéraldéhyde-3-phosphate

GH : glycosides hydrolases

GI : gastro-intestinal

Liste des abréviations

GLA : Acide gamma-linolénique

GLK : glucokinase

GOS: Galacto-Oligo-Saccharides

H. tuberosus: Helianthus tuberosus

H₂ : Le dihydrogène

H₂O₂ : Peroxyde d'hydrogène

HPC : l'hydroxypropylcellulose

HPMC : hydroxypropyl methylcellulose

HV : high viscosity

IgA : immunoglobuline A

IL : interleukine

IMO isomalto oligosaccharides

KCAL : kilocalories

kDa : Kilo Daltons

Kj : kilojoules

L: lévogyre

l'AACC: American Association for Clinical Chemistry

La FDA : organd de certification américaine des aliments et des médicaments

Lb: lactobacillus

LDL : Low Density Lipoprotein

LNA : Acide alpha-linolénique

LSRO : Life sciences Research Office

Max: maximum

MC : méthylcellulose

Liste des abréviations

Mcg : microgramme

Mg : magnésium

mg: milligramme

MICI : Maladies inflammatoires chroniques de l'intestin

min: minimum

mP.s : milli pascalle par seconde

MRS : Man, Rogosa and Shape medium.

n : nombre d'unités de fructose ou galactose liées

NAD : nicotinamide adénine dinucléotide

NADH: Dihyronicotinamide Adenine Dinucleotide

NE : équivalent niacine

NF-kB : nuclear factor-kappa B

°C: degré Celsius

OHM : oligosaccharides humains naturels du lait maternel

OND : oligosaccharides non- digestibles

PEP : phospho-énolpyruvate

Ph : potentiel hydrogène

Pi : phosphate inorganique

Ppm : partie par milliard

µg : microgramme

UFC : Unité formant colonie.

PTS : phospho-transférase

SOS Les oligosaccharides de soja

TPI : triose-phosphate isomérase

Liste des abréviations

XOS : xylooligosaccharides

Zn : zinc

ω : Oméga

Table des matières

I.	Remerciements	
II.	Dédicace	
III.	Résumé	
IV.	Liste des figures	
V.	Liste des tableaux	
VI.	Liste des abréviations	
INTRODUCTION		2
 Chapitre I : Généralité sur le topinambour (<i>Helianthus tuberosus</i>)		
I.1	Historique du topinambour	5
I.2	Taxinomie de la plante	6
I.3	Description botanique	7
I.3.1	Description de l'Appareil aérien	7
I.3.2	Description de l'Appareil souterrain	7
I.4	Origine de la plante	8
I.5	Composition chimique des tubercules	9
I.6	Culture et variété	11
I.6.1	Culture	11
I.6.2	Variété	12
I.7	Utilisation de la plante	13

Chapitre II : Les bactéries lactiques

II.1	Introduction	15
II.2	Définition et caractéristiques	16
II.3	Habitat et origine	17
II.4	Classification des bactéries lactiques	18
II.5	Les voies fermentaires des bactéries lactiques	20
II.5.1	Voies fermentaires générales du métabolisme carboné	20
II.5.2	Voie homofermentaire	21
II.5.3	Voie hétérofermentaire	22
II.6	Principales propriétés métaboliques des bactéries lactiques	22
II.6.1	Utilisation des sucres	22
II.6.2	Utilisation des sources azotées	23
II.6.3	Métabolisme du citrate et d'autres substrats carbonés	24
II.6.4	Métabolisme de l'oxygène	25
II.6.5	Production des bactériocines	26
a)	Classification des bactériocines	27
II.7	Les principales utilisations des bactéries lactiques en alimentation humaine.....	30
II.7.1	Produits laitiers	30
II.7.2	Produits carnés	31
II.7.3	Produits de la pêche	31
II.7.4	Produits végétaux	32
II.8	Camembert	33
II.8.1	Histoire du camembert	33
II.8.2	Définition	33
II.8.3	Composition et valeur nutritionnelles	34

II.8.4	Procédé de fabrication du « camembert ».....	38
---------------	---	-----------

Chapitre III : Les fibres alimentaires et leurs propriétés

III.1	Historique	42
III.2	Définition des fibres alimentaires	44
III.3	Sources et ingestion des fibres alimentaires	45
III.4	Structure des fibres alimentaires	46
III.5	Composition chimique et propriétés des fibres	46
III.5.1	Les fibres solubles	47
III.5.2	Fibres solubles non viscosifiantes	48
III.5.3	Fibres solubles viscosifiantes	49
a)	Les hémicelluloses solubles	49
b)	Les arabinoxylanes	50
c)	Les pectines	50
d)	Les gommes de réserve	50
e)	Le β -glucane	51
III.5.4	Les fibres insolubles	51
a)	Amidon résistant	52
b)	Lignine	52
c)	Cellulose	53
III.6	Les bienfaits des fibres alimentaires	55
III.7	Effets biologiques des fibres alimentaires	57
III.7.1	Effet prébiotique	57

Chapitre IV : Les prébiotiques et l'inuline

IV.1 Introduction	58
IV.2 Historique et définition	58
IV.3 Aperçu des principaux prébiotiques	60
IV.3.1 Nature chimique et propriétés	60
IV.3.2 Différents types des prébiotiques	62
a) Prébiotiques reconnus	63
b) Prébiotiques émergents	67
IV.4 Prébiotique et la santé humaine	67
IV.4.1 Les prébiotique et la maladie de crohn	68
IV.5 L'innocuité et statut réglementaire	70
IV.6 L'inuline	71
IV.6.1 Généralités	71
IV.6.2 Biochimie de l'Inuline	72
IV.6.3 Les enzymes de dégradation d'inuline	74
a) Endo-inulinase	75
b) Exo-inulinase	75
c) Voie de dégradation de l'inuline	75
IV.6.4 Principes actifs et propriétés médicinales	77
a) Inuline et oligofructose	77
b) Santé intestinale	77
c) Intérêt de l'inuline dans la maladie de crohn	77
d) Glycémie et insulinémie	78
e) Cancer	78
f) Lipides sanguins	78

Chapitre V : Matériels et méthodes

V.1	Lieu de stage	79
V.1.1	Présentation de l'entreprise	79
V.2	Matériel végétale	79
V.2.1	Origine des tubercules de topinambour	79
V.2.2	Préparation de l'échantillon	80
V.3	Matériels biologiques	81
V.4	Matériels biologiques	81
V.4.1	Echantillonnage	81
V.4.2	Addition de poudre de topinambour	82
V.5	Analyses physicochimiques	83
V.5.1	Cinétique d'acidification (suivi du pH)	83
V.6	Analyses microbiologiques	84
V.6.1	Cinétique de croissance bactériennes	84
V.7	Analyses statistiques	86

Chapitre VI : Résultat et discussion

VI.1	Cinétique d'acidification (suivi du pH)	87
VI.2	Effet des différentes concentrations d'extrait d'inuline du topinambour sur la cinétique d'acidification du lait	88
VI.3	Effets des différentes concentrations d'inuline du topinambour sur la cinétique de croissance des souches	89
CONCLUSION		93
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		94

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le développement de la production laitière figure parmi les priorités du Ministère de l'Agriculture, et des Pêches Maritimes, et ce pour faire face à la demande croissante en lait et ses dérivés. Puisque le lait est considéré comme étant une source de protéine animale importante et ayant un rôle vital dans l'alimentation humaine. **(Web master 01).**

Les laits fermentés sont des produits laitiers transformés par une fermentation essentiellement lactique qui aboutit à l'acidification et à la gélification du lait. Historiquement il s'agissait de permettre une meilleure conservation du lait qui est une matière première rapidement périssable. Depuis, ces produits ont rapidement gagné de l'intérêt du fait de leurs caractéristiques organoleptiques agréables (fraîcheur, acidité et onctuosité) **(Meghachou, 2014).**

Depuis une dizaine d'années, un intérêt considérable s'est développé autour de l'utilisation de cultures lactiques (*Bifidobacterium*, *Lactobacillus*) à effets bénéfiques pour la santé ou «probiotique» pour des applications alimentaires, pharmaceutiques ou encore en alimentation animale. Dans la majorité des cas, les produits laitiers tels que yaourts, laits fermentés, fromages, laits en poudre et crèmes glacées ont été choisis comme véhicules privilégiés des cultures probiotiques **(Doleyres et al., 2003).**

Le fromage par lui-même en plus de son importance nutritionnelle a été identifié pendant longtemps en tant que nourriture saine due à l'action bénéfique de ses deux bactéries vivantes (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*). Ces dernières concurrencent les bactéries pathogènes aussi bien dans l'aliment que dans l'environnement **(Tamime et Robinson, 1985).**

Par conséquent on voit apparaître depuis plus de 10 ans, sur le marché de l'agroalimentaire des spécialités laitières fermentées avec des bactéries lactiques comme le Bifidus, du sucre enrichi en FOS (Fructo-oligosaccharides) ou en inuline ou encore des compléments alimentaires contenant des bactéries. Des effets bénéfiques comme l'équilibre ou le bon fonctionnement de la flore intestinale, la régulation du système immunitaire intestinal ou le renforcement de la barrière intestinale sont revendiqués pour chacun de ces produits. **(Christophe Boclé et Carole Thomann 2005).**

Dans ce contexte liant alimentation et santé, les probiotiques sont des micro-organismes vivants qui, lorsqu'ils sont consommés en quantités adéquates, produisent un bénéfice pour la santé de l'hôte (**FAO / OMS, 2001**), et les prébiotiques sont des ingrédients alimentaires non digestibles qui stimulent de manière sélective au niveau du côlon la multiplication ou l'activité d'un ou d'un nombre limité de groupes bactériens susceptibles d'améliorer la santé de l'hôte (**Gibson 1995 ; Schrezenmeir 2001**). De nombreuses publications scientifiques visant à démontrer des effets de ces composés tant au niveau digestif que systémique. En parallèle, l'industriel exploite ces résultats et valorise ses produits par l'intermédiaire d'allégations santé qui suggèrent qu'un bénéfice sera tiré de la consommation de ces aliments. L'enrichissement du lait est, par conséquent, une méthode reconnue dans l'améliorer de la croissance des cultures de bactéries lactiques et probiotiques dans les laits fermentés. En plus de favoriser la croissance des probiotiques, l'enrichissement peut augmenter les propriétés nutritionnelles du fromage.

La problématique développée dans ce travail s'inscrit dans le cadre de la recherche de nouveaux aliments dits « fonctionnels » capables, non seulement d'apporter des nutriments, mais aussi d'apporter des microorganismes d'intérêt digestif et/ou des substances naturelles promotrices de leur croissance et de leur survie in vitro dans l'aliment vecteur et in vivo chez l'hôte recevant cet aliment vecteur.

Les tubercules, y compris le topinambour (*Helianthus tuberosus*), sont de bonnes sources de nutriments ayant un potentiel bénéfique pour la santé. Les tubercules contiennent des glucides complexes (fibres, amidon et oligosaccharides résistants), protéines, vitamines et minéraux, ainsi que des antioxydants importants, et des quantités minimales de graisses insaturées qui limitent l'oxydation. Ils pourraient donc constituer une très bonne source de facteurs de croissance et de composants prébiotiques pour le fromage et autres aliments contenant des probiotiques (**Miller., Rigelhof., Marquart., Prakash et Kanter., 2000**), offrant la possibilité d'améliorer la formulation des laits fermentés d'un point de vue nutritionnel ainsi qu'une amélioration de la croissance bactérienne. Cependant à ce jour, peu d'études ont été faites sur l'enrichissement du fromage à base de tubercule.

La présente étude a été consacrée à l'évaluation de l'effet de la poudre de topinambour, contenant de l'inuline sur l'acide lactique, le pH et la croissance des probiotiques dans le fromage type camembert. Hormis l'introduction et la conclusion, le

manuscrit est donc organisé en trois grands chapitres. Le premier chapitre consiste à une synthèse bibliographique sur le topinambour, les prébiotique et les bactéries lactiques. Dans le deuxième chapitre est exposé le large éventail des matériels et méthodes mises en œuvre dans le cadre du travail expérimental. Les résultats sont ensuite développés dans un troisième chapitre où ils sont discutés par la suite, pour finir avec la conclusion générale et les perspectives.

Chapitre I

Généralité sur le topinambour (*Helianthus tuberosus*)

I.1 Historique du topinambour :

L'histoire de *H. tuberosus* a été décrite dans un certain nombre d'articles (**Decaisne, 1880 ; Gihault, 1912 ; Gray and Trumbull, 1883 ; Hooker, 1897 ; Lacaita, 1919 ; Salaman, 1940 ; Schlechtendal, 1858 ; Trumbull and Gray, 1877**), et ce qui suit est donc un résumé. Le topinambour est considéré comme l'une des plus anciennes cultures cultivées en Amérique du Nord. Bien que les archives archéologiques fassent défaut, plusieurs groupes amérindiens ont probablement cultivé la plante des siècles avant l'arrivée des colons européens sur le continent. La première mention de la récolte par un Européen a été faite par Champlain, qui a décrit sa culture par les Indiens d'Amérique du Nord en 1605 (**Champlain, 1613**).

Les tubercules de *H. tuberosus* ont probablement été ramenés en France par Champlain arrivant le 1er octobre 1607 ou par Marc Lescarbot à l'automne 1607. Bien que Lescarbot n'ait pas atteint New France (dans le Canada actuel) jusqu'à environ 12 mois après que Champlain a observé la récolte en culture, il a présenté la première publication en 1609. Bien qu'il ne soit pas possible d'établir définitivement lequel des deux a introduit la culture en France, ou du moins l'a fait en premier, Lescarbot est peut-être le candidat le plus probable en ce qu'il était responsable des jardins de Port Royal, où le topinambour était apparemment cultivé (**Lescarbot, 1609**). Cependant, dans les deux premières éditions du livre (*Histoire de la Nouvelle France*), il n'indique pas ramener les "racines" en Europe, bien que dans l'édition de 1617 il affirme l'avoir fait. Cette omission dans les premières éditions peut être due au fait qu'au départ, l'espèce avait une importance mineure. Cependant, sa popularité croissante au cours de la décennie suivante a peut-être incité Lescarbot à fournir un compte rendu plus détaillé. (**STANLEY J. KAYS, STEPHEN F. NOTTINGHAM, 2007**)

Dans l'édition de 1617 de l'*Histoire de la Nouvelle France*, Lescarbot indique que la récolte avait déjà acquis le nom de topinambaux ou ropinambours, par lequel ils étaient généralement appelés en France. Il déclare qu'ils étaient dans le jardin de tout le monde à Paris alors qu'ils étaient encore rares à Rome et une nouveauté absolue en Angleterre" (**Lacaita, 1919**). Si Lescarbot a amené les tubercules à Port Royal à l'automne 1607, cela leur aurait donné suffisamment de temps (10 ans) pour qu'ils deviennent communs, ce qui a conduit à leur introduction ultérieure en Angleterre en 1617 (**Hereman, 1868**) et à la description de John Parkinson de la récolte en 1629. Sur la base de ce scénario, **Lacaita (1919)** estime "qu'il ne fait aucun doute que les racines ont été importées en France à

l'occasion du retour du parti de Lescarbot en 1607." Les premières illustrations (**figure 01**) soutiennent l'idée que la récolte était relativement bien connue au début des années 1600.

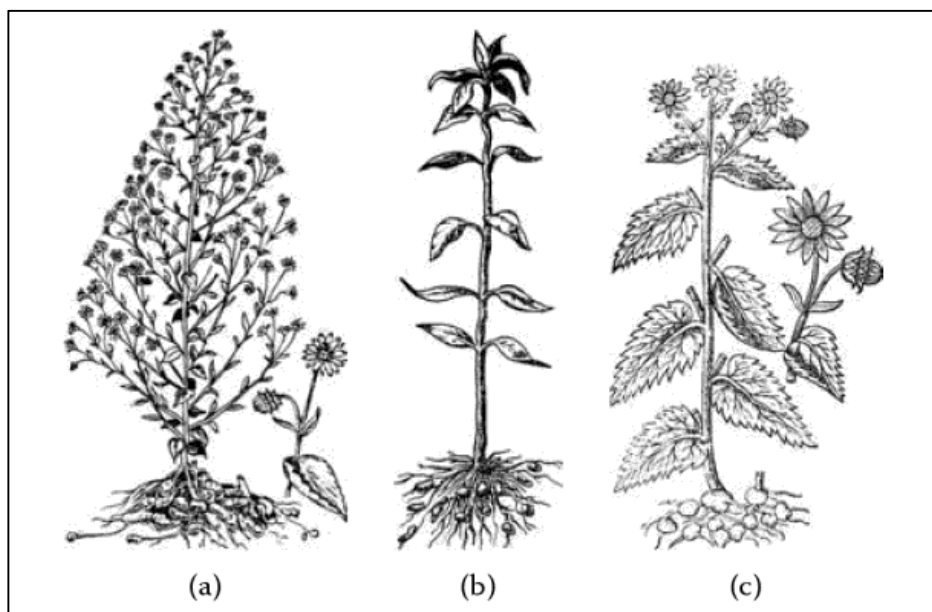


Figure 01 : Dessins botaniques de *H. tuberosus* revient au début du XVII^e siècle par: (a) Colonna 1616, (b) Lauremberg 1632, (c) Parkinson 1640. (**Kays and Notthingam 2007**)

I.2 Taxinomie de la plante :

Le topinambour (*Helianthus tuberosus* L., 1753), aussi appelé artichaut de Jérusalem, truffe du Canada ou soleil vivace, est une espèce de plante vivace de la famille des astéracées, cultivée comme légume pour ses tubercules riches en inuline. C'est une espèce voisine du tournesol (*Helianthus annuus*) qui appartient au même genre.

La famille du topinambour est donc souvent écrite comme Asteraceae. Les noms modernes ont été introduits comme un moyen de normaliser les termes taxonomiques (par exemple, tous les noms de famille se terminent maintenant par aceae pour faciliter la reconnaissance), et de réaligner certains groupes afin que chaque famille ait un spécimen de type nomenclatural. La famille des Astéracées contient 476 genres au total. Le genre *Helianthus* a parfois été placé dans la sous-tribu Helianthinae de la famille des Astéracées (**Robinson, 1981**).

- Sa classification exhaustive est présentée par **Cronquist (1981)** :
 - ❖ Règne : Plantae
 - ❖ Sous-règne : Tracheobionta
 - ❖ Division : Magnoliophyta
 - ❖ Classe : Magnoliopsida
 - ❖ Sous-classe : Asteridae
 - ❖ Ordre : Asterales
 - ❖ Famille : Asteraceae
 - ❖ Genre : *Helianthus*
 - ❖ Espèce : *Helianthus tuberosus* L., 1753.

I.3 Description botanique :

Ressemblant au tournesol, le topinambour (*Helianthus tuberosus*) est une plante vivace rustique herbacée de 1 à 3 m de hauteur, résistante au froid, caractérisée par une tige verte de section circulaire contenant de la moelle, hirsute, légèrement ramifiée uniquement dans la partie supérieure. Le topinambour fleurit en fin d'été et les tubercules se forment lorsque la longueur des jours décroît et que la température diminue. C'est une plante dite « de jours courts ». Les fleurs produisent des graines dont beaucoup seraient stériles chez nous. Les tubercules se conservent dans la terre et sont capables de résister à de grands froids. Au printemps ils donnent de jeunes pousses et assurent ainsi la pérennité de l'espèce et ils sont à la fois l'organe de multiplication et de consommation (**Joseph Pousset 2010**).

I.3.1 Description de l'Appareil aérien :

Les feuilles, alternes dans la partie supérieure, opposées dans la partie inférieure, sont pétiolées, largement ovales, pointues à l'extrémité, grossièrement dentées, à face supérieure scabre, à face inférieure pubescente. Les capitules (4-8 cm de diamètre) sont arrangés en grappe lâche. Chaque capitule est bordé de fleurs ligulées jaunes (2.5 à 4 cm de long, 1 cm de large) entourant des fleurs tubuleuses centrales petites et jaunes (diamètre 1-2.5 cm). Les fruits ont 4-6 mm de longueur et sont munis de 4 soies (**Figure 01, 03**).

I.3.2 Description de l'Appareil souterrain :

Les tubercules qui sont des épaississements des rhizomes tubérisés dont la taille, la coloration et la forme varient selon les variétés et également la nature du terrain où ils poussent sont récoltés d'octobre à avril, mais généralement ont une forme très irrégulière,

arrondie ou ovale, toujours plus amincie à la base (**figure 02**). La couleur va du jaune au rouge. Ces tubercules sont riches en inuline, une substance glucidique voisine de l'amidon et possédant la propriété d'être soluble dans l'eau mais insoluble dans l'alcool (**Joseph Pousset 2010**).



Figure 02. Tubercule du topinambour
(Web master 02).



Figure 03. Partie aérienne du topinambour
(Web master 03)

I.4 Origine de la plante :

Cette espèce est originaire de la partie orientale de l'Amérique du Nord (États-Unis et Canada) et était déjà cultivé par les Indiens pour ses tubercules. Le topinambour fut observé pour la première fois par Champlain au Canada. Il porte le nom déformé des Tupinambas. Il est aujourd'hui planté et cultivé pour l'agro-alimentaire.

L'explorateur anglais Walter Raleigh le découvre en 1585 en Virginie. Après Samuel de Champlain l'observe au Cap Cod en 1605. Puis l'avocat et voyageur Marc Lescarbot, qui embarque en 1606 à La Rochelle avec son ami Jean de Poutrincourt, atteint la première colonie française, Port-Royal, où Champlain lui fait découvrir le tubercule, et il en rapporte en France sous le nom de « Canada » en 1607. Sa diffusion en Europe se développe rapidement grâce à sa culture facile, sa rusticité et sa forte multiplication végétative, même dans des sols pauvres. Il est appelé poire de terre dans le Traité des aliments de Louis Lémery en 1702.

Lors de la Seconde Guerre mondiale, sa consommation en tant que légume de rationnement, souvent mal cuit et cuisiné sans matière grasse, a laissé dans certains pays d'Europe de mauvais souvenirs. (**Anne-Sophie Luguët-Saboulard 2013**)

En Algérie, le topinambour a probablement, été introduite une première fois au XVIème siècle par les Maures andalous qui ont propagé les autres cultures dans la région : tomate, poivron, maïs, pomme de terre puis elle est tombée dans l'oubli n'ayant pas suscité d'intérêt. Dans la deuxième moitié du XIXème siècle, les colons vont la cultiver pour leur usage, car les algériens y sont réticents malgré les disettes successives. (MEZIANE.D 1991).

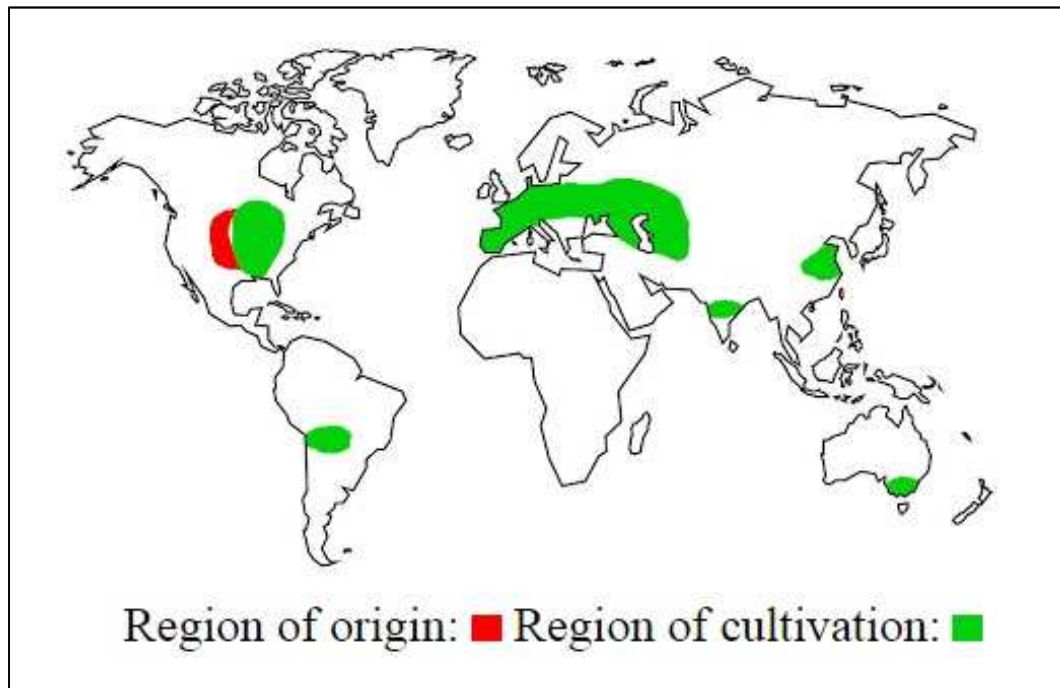


Figure 04. Distribution de topinambour dans le monde (Web master 04).

I.5 Composition chimique des tubercules :

Le topinambour a pour principale caractéristique une teneur relativement élevée en glucides : 8 à 10 g pour 100 g (alors que dans la plupart des légumes frais, elle ne dépasse pas 3 à 4 g). Ces glucides présentent l'originalité d'être constitués, pour environ 50 %, par de l'inuline. Cette substance, qui peut être considérée comme un sucre de réserve de la plante, est un fructosane de structure complexe. On le trouve aussi dans d'autres légumes de la famille des composés, comme les salsifis, les cardons, les artichauts. L'inuline n'est que faiblement métabolisable dans l'organisme : elle ne peut pas être absorbée au niveau de l'intestin grêle, mais est dégradée par la flore du colon. Comme elle n'est pas (ou pratiquement pas) assimilable, sa valeur énergétique est quasiment nulle. C'est pourquoi l'inuline n'est pas prise en compte dans le calcul énergétique du topinambour : l'évaluation du total calorique se fait sur la base de 50 % restant de glucides (Web master 05).

Les autres constituants énergétiques du topinambour ne sont pas très abondants : le taux de protéines est de l'ordre de 2,4 g pour 100 g, les lipides (ou substances grasses) 0,4 g seulement. De ce fait, le total énergétique du topinambour ne dépasse pas 31 kilocalories (130 kilojoules) aux 100 g. Le topinambour est particulièrement riche en fibres : avec une teneur de l'ordre de 7 à 8 %, il fait partie des légumes qui en renferment le plus. Il s'agit de molécules glucidiques complexes, non assimilables par l'organisme : elles restent dans l'intestin, dont elles stimulent les contractions et la motilité. (**Web master 05**).

L'eau de constitution du topinambour (en moyenne 79 % du total des constituants) est très bien pourvue en minéraux : on en trouve plus de 1,7 g aux 100 g. Le potassium est particulièrement abondant (478 mg aux 100 g). Comme par ailleurs le sodium ne dépasse pas 3 à 5 mg aux 100 g, on obtient pour ce légume un rapport sodium/potassium très bas, caractéristique des aliments ayant de bonnes propriétés diurétiques. Le phosphore est bien représenté (78 mg), de même que le magnésium, qui atteint 20 mg pour 100. Quelques oligo-éléments - fer, cuivre, zinc... - ont également été dosés dans le topinambour. Ce légume en renferme probablement beaucoup d'autres : mais les études disponibles ne les ont pas recherchés. (**Web master 05**).

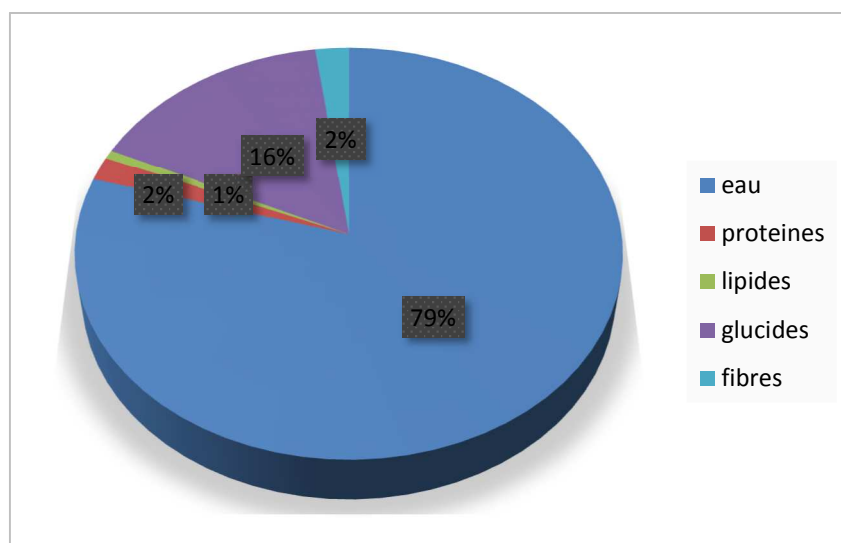


Figure 05. Représentation graphique de la composition biochimique moyenne d'un tubercule de topinambour. Les valeurs sont exprimées en pourcentage de la matière fraîche totale (**Web master 05**).

Avec un taux de vitamine C de 4 mg (et d'environ 2 mg après cuisson), le topinambour ne constitue pas un légume particulièrement intéressant en ce qui concerne l'apport en acide ascorbique. En revanche, la vitamine B3 (ou vitamine PP, ou nicotinamide)

atteint 1,3 mg aux 100 g, la vitamine B1 (ou thiamine) 0,20 mg, et la vitamine B2 (ou riboflavine) 0,06 mg. Enfin, on note des traces de provitamine A (ou carotène), ainsi qu'une petite quantité de vitamine E (0,2 mg aux 100 g), aux propriétés anti-oxydantes (**Web master 05**).

Tableau 01 : Composition de tubercule de topinambour en minéraux et oligo-éléments (**Web master 05**).

Minéraux et oligo-éléments	Qté.	Min - Max
Calcium	32.9 mg	14 - NC mg
Cuivre	NC mg	NC - 0.14 mg
Fer	0.2 mg	NC - 3.4 mg
Magnésium	14.1 mg	NC - 17 mg
Phosphore	64 mg	NC - 78 mg
Potassium	452 mg	429 - NC mg
Sodium	35.9 mg	4 - NC mg
Zinc	0.34 mg	0.12 - NC mg

Tableau 02 : Composition de tubercule de topinambour en vitamines (**Web master 05**).

Vitamines	Qté.	Min – Max
Vitamine B1	NC mg	NC - 0.2 mg
Vitamine B2	0.03 mg	NC - 0.06 mg
Vitamine B3	0.05 mg	NC - 1.3 mg
Vitamine C	3.2 mg	NC - 4 mg
Vitamine E	0.19 mg	NC

I.6 Culture et variété :

I.6.1 Culture :

C'est une plante rustique, facile à cultiver, même dans les sols les plus pauvres. Elle est peu sensible aux maladies, hormis l'oïdium, et aux prédateurs, tels que lapins ou chevreuils (**Zuang H. 1991**), mais les limaces peuvent décimer les jeunes plants et les tubercules. Les topinambours ne craignent pas le froid tant qu'ils sont en terre (**Couplan, François, 1986**).

La multiplication se fait par plantation de tubercules en lignes, en février ou mars, selon les régions (**Garola C.V, 1924**). Il convient de butter les plants dès qu'ils ont atteint un certain développement. On peut aussi bouturer la plante en juin en prélevant vers le haut du

plant une bouture d'une vingtaine de centimètres et en la plantant en milieu humide et chaud à mi-ombre (**Zuang H. 1991**).

La récolte peut se faire environ sept mois après la plantation, à partir de septembre et jusqu'en mars, toujours selon les régions, et en fonction des besoins. En effet, les tubercules déterrés ne se conservent pas et le tubercule arraché craint le gel. C'est généralement vers la mi-octobre que les producteurs commencent à avoir un rendement convenable mais, plus l'automne avance, plus le goût du topinambour s'améliore. Si on souhaite arrêter la culture, il est important de bien récolter tous les tubercules, car même un fragment peut repousser l'année suivante (**Web master 06**).

I.6.2 Variété :

Il existe de nombreuses variétés à l'état sauvage. On a fait des sélections en Amérique et en Europe ; d'après M. Meunissier, la variété ordinaire (commune) cultivée en Europe est probablement la première forme introduite des Massachusets en Europe. En Europe les variétés provenant de graines sont les suivantes : Patate, Piriforme, Fuseau et Rose.

En Amérique, on cultive la variété Française blanche améliorée, appelée blanche améliorée en Europe ; elle fleurit beaucoup à Washington D.C. ; ses tubercules sont colorés.

Les variétés issues de graines en Europe sont : Patate (**seedling de 1889**), Piriforme, (**seedling 1903**). Fuseau (**seedling 1913**) et, probablement, la var. Rose. On ne connaît pas l'origine de ces variétés. Une lettre de Vilmorin-Andrieux affirme que la graine qui a produit Fuseau venait d'Egypte ; on n'en a pas connu les parents.

La variété appelée Blanche améliorée en Europe et Française blanche ou beauté française blanche améliorée aux états unis, a une histoire : le nom fut d'abord donné par Sutton et Sous, sélectionneurs en Angleterre, en 1894 ; c'était la première variété à peau blanche vendue en Europe ; Vilmorin Andrieux la reçut d'Angleterre ; le nom américain peut signifier seulement que les Américains l'ont achetée en France, mais non pas que les Français ont contribué à sa production. Sutton ne l'avait pas cultivée comme un seedling, mais l'avait achetée à P. H. Pierce, de Canterbury, en 1889. Walter R. Pierce, écrivait à Sutton le 11 janvier 1919 : « J'ai élevé le Topinambour d'une racine tubérifiée d'*Helianthus* qu'un de mes amis, le Dr Brodié, avait importée de l'étranger. Elle peut provenir de l'Amérique du Sud avec un lot d'autres spécimens reçus, mais je crois qu'elle est venue de Hollande ». Ce qui paraît certain, c'est que cette variété ne provient pas d'une sélection ; elle se rapporte peut-être à la

culture indienne, ou a pu être obtenue plus récemment, d'une forme sauvage (**D.N. SHOEMAKER.1928**)

I.7 Utilisation de la plante :

Toutes les parties de la plante peuvent être utilisées, comme fourrage, pour l'alimentation humaine ou pour des articles manufacturés. Certains chercheurs français suggèrent l'utilisation des tiges pour le carburant et de la moelle pour contenir le matériel pour la coupe à main levée des sections pour le microscope. (**Daniel Naylor Shoemaker 1927**) Certaines de ses utilisations sont envisagées dans les paragraphes suivants :

➤ **Comme alimentation et fourrage pour les animaux :**

L'utilisation la plus étendue qui ait encore été faite du topinambour est comme aliment et fourrage pour le bétail. Presque la totalité de la récolte française de 2 750 000 tonnes (1925) a été utilisée pour l'alimentation des bovins, ovins, porcs et chevaux. Cette utilisation a bien commencé en France il y a un demi-siècle (**Daniel Naylor Shoemaker 1927**).

En France, ces légumes ne sont pas si fréquemment nourris aux porcs et lorsqu'ils sont ainsi nourris, ils sont généralement cuits. Dans le sud de la France, les tubercules sont également nourris aux chevaux de trait, Ils ne sont pas largement utilisés dans aucun autre pays européen. (**Gouin R. 1923**)

Aux États-Unis, mais peu de travail minutieux a été fait pour déterminer la valeur alimentaire de ces tubercules. Ils ont été recommandés pour nourrir les porcs et ont été plus utilisés à cette fin plus que tout autre objectif. Apparemment, les porcs ont généralement été autorisés à récolter les tubercules au besoin. (**Daniel Naylor Shoemaker 1927**)

FD Coburn (25 p 112, 116) dans son article sur l'élevage porcin publié en 1877, fait l'éloge de tubercule de topinambour et donne des exemples d'agriculteurs qui l'utilisent avec succès, Joseph C Sibley, de Franklin, Pa., avait probablement utilisé la plante aussi largement que quiconque ces dernières années. Il l'a trouvée satisfaisante pour l'alimentation de presque tous les animaux de sa ferme (109, 110,111). (**Daniel Naylor Shoemaker 1927**)

➤ **Eradicateur de mauvaises herbes :**

Le topinambour fait une ombre si dense qu'elle étouffe la plupart des plantes concurrentes. Schribaux (106) écrit en 1917 donne comme l'une des raisons importantes pour une utilisation plus large de cette plante qu'elle éradiquerait les mauvaises herbes des sols négligés. Il déclare que deux ans de sa culture ou un an s'il est bien aidé avec une houe

nettoiera le sol du chiendent. Le département américain de l'Agriculture a récemment reçu une lettre d'un correspondant de Des Moines Iowa qui rapporte que l'usine réussit très bien à surmonter le chiendent (**Daniel Naylor Shoemaker 1927**)

➤ **Pour la fabrication d'alcool :**

Les tubercules ont été étudiés comme source d'alcool. Du Mont, en 1877, a estimé un rendement de 60 à 100 litres par tonne de tubercules. Dans la région de production de topinambour en France, les usines d'alcool ont travaillé ces dernières années une partie de la récolte. (**Du Mont. 1877**)

➤ **Pour l'alimentation humaine :**

L'artichaut de Jérusalem a une histoire variée en tant qu'aliment pour l'homme. Lorsqu'il a été introduit en Europe pour la première fois, il a été accepté avec beaucoup d'enthousiasme, mais moins de 20 ans après son introduction en Angleterre, Parkinson s'est plaint que même les pauvres le méprisaient. Il est très douteux que le pauvre n'ait jamais accepté.

Lauremberg écrit en 1632 donne cinq très bonnes recettes pour la préparation des tubercules pour la table et il serait actuellement possible de rassembler une liste considérable de recettes publiées Le légume doit partout avoir des passionnés qui continuent à l'utiliser, mais il n'est nulle part un aliment humain important. (**Lauremberg P. 1632**)

Beaucoup de travail a été fait sans succès pour tenter de trouver dans le tube digestif des animaux supérieurs, une enzyme similaire à l'inulase qui a une action sur l'inuline, et certains auteurs ont conclu que la plante a très peu de valeur en tant que nourriture à ce titre. Bierry en 1910 présente son article avec la remarque que « L'inuline est un bon aliment, de nombreux bœufs y sont engraisés ». Pourtant, il ne trouve pas d'enzyme digestive capable de travailler sur l'inuline. La conclusion générale semble être que la conversion de l'inuline en lévulose est effectuée dans l'estomac par les acides du suc gastrique. Le surplus d'inuline qui passe dans l'intestin peut donc en l'absence d'un l'enzyme digestive appropriée subir une décomposition bactérienne avec formation de gaz (**Bierry. H. 1910**).

Chapitre II

Les bactéries lactiques

II.1. Introduction :

De très nombreux produits alimentaires subissent une fermentation lactique avant leur consommation, ce qui leur assure des caractéristiques bien particulières d'arôme et de texture, mais aussi une bonne sécurité alimentaire grâce aux acides organiques produits. Les bactéries qui en sont responsables sont toutes regroupées sous la même appellation de « bactéries lactiques », bien que ce terme concerne des germes très différents (**DE Roissart H,1994 et Novel G, 1993**). (**Tableau 04**).

Dans un certain nombre de cas, la fermentation lactique est spontanée, et la qualité des produits finaux obtenus est très variable. Aussi, au fur et à mesure de l'industrialisation de certaines fabrications, les technologues ont fini par bien connaître ces bactéries et les utilisent dans des conditions définies, après sélection de souches spécialement adaptées aux fabrications ; ils cherchent actuellement à leur appliquer les techniques récentes du génie génétique afin de mieux encore les exploiter (**Gasson MJ, 1993**). Ainsi, tous les types de produits alimentaires sont concernés. Dans les produits animaux, le lait est transformé en fromages, crèmes et beurre, yaourts et autres laits fermentés. La viande conduit à des saucisses fermentées ou à des produits saumurés secs, le poisson à différentes préparations. Les produits végétaux subissent aussi, dans de nombreux pays pour toutes les latitudes, une fermentation lactique qui est impliquée dans la fabrication des boissons (vins, bières, cidres), des pains, dans la transformation du soja, du chou en choucroute ou de différents végétaux (manioc) ou fruits (olives) (**DE Roissart H,1994**).

L'utilisation prolongée des bactéries lactiques dans les techniques traditionnelles et leur consommation à forte dose dans certains produits connus de tous temps, sans qu'aucune toxicité n'ait été démontrée, militent naturellement pour leur innocuité. Cependant, certaines espèces sont pathogènes (germes causant des mammites) et sont donc rejetées des fabrications, et des cas particuliers d'infections cliniques (**Gasser F.1994**), par des souches de genres normalement non pathogènes, ont été rapportés et seront présentés dans cette synthèse. Enfin, de façon plus positive, de nouveaux produits sont développés, notamment dans le secteur laitier, car on considère désormais que certaines souches de bactéries lactiques peuvent jouer un rôle bénéfique pour la santé humaine (**Sanders ME.1993.et Nakazawa Y, Hosono A 1992**).

II.2. Définition et caractéristiques :

Les bactéries lactiques sont définies comme étant des « bactéries à Gram positif, non mobiles, ne produisant pas de spores, se présentant sous formes de coques ou de bacilles et capables de fermenter les sucres en acide lactique » (Stiles et Holzapfel, 1997). En se tenant strictement à cette définition, ce groupe taxonomique devrait englober beaucoup plus de genres que ceux généralement sous-entendus sous le terme « lactiques ».

La classification actuelle des bactéries lactiques fait apparaître douze genres : *Aerococcus*, *Camobacterium*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pedzococcus*, *Oenococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* et *Weissella* (Stiles et Holzapfel, 1997). Les relations phylogéniques existant entre ces différents genres sont présentées dans la **Figure 06** (Axelsson, 1998).

Les bactéries lactiques sont généralement mésophiles ; certaines sont psychrotolérantes ou thermotolérantes. Elles se développent majoritairement à pH 4,0-4,5 et certaines sont encore actives à pH 9,6 Ou 3,2. Elles Ont des tolérances très variables vis-à-vis du sel. Enfin, les bactéries lactiques possèdent de faibles activités protéolytique et lipolytique et Ont une exigence marquée en acides aminés, dérivés de bases puriques et pyrimidiques et vitamines B (Caplice et Fitzgerald, 1999), (**Figure 06**).

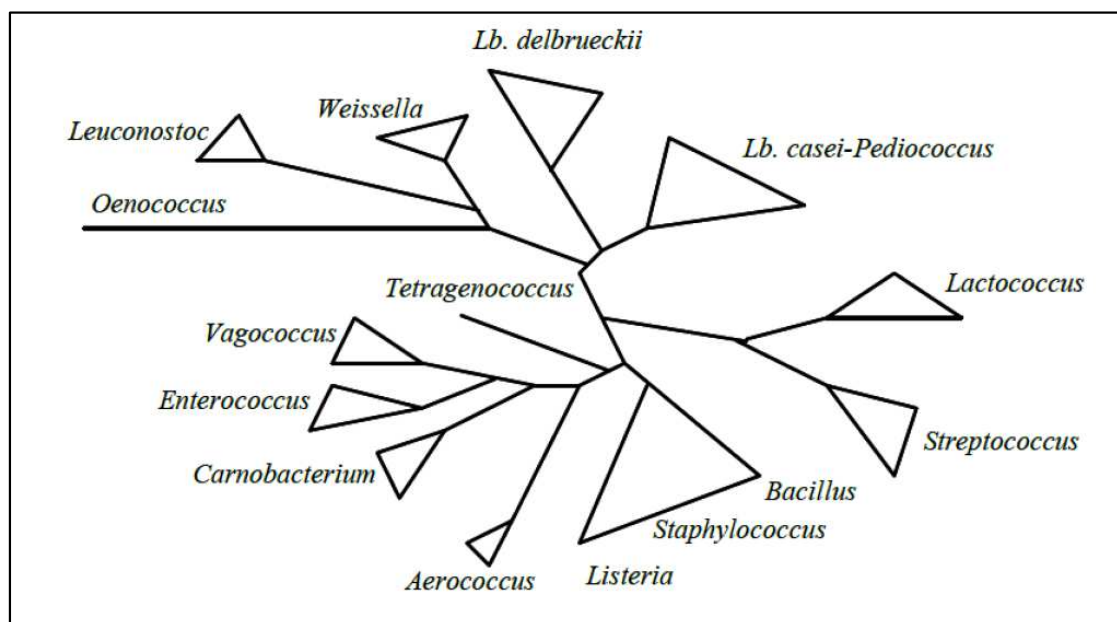


Figure 06. Arbre phylogénétique des bactéries lactiques (d'après Axelsson, 1998). Les distances évolutives sont calculées par comparaison des séquences des ADN R16S. La distance évolutive relative séparant deux genres est la somme des longueurs totales des branches.

Tableau 03. Principales caractéristiques biologiques et métaboliques des bactéries lactiques (d'après Axelsson, 1998). B : bacilles ; C : coques ; nd : non déterminé ; +/- : variables selon les espèces.

	<i>Carnobacterium</i>	<i>Lactobacillus</i>	<i>Aerococcus</i>	<i>Enterococcus</i>	<i>Lactococcus Vagococcus</i>	<i>Leuconostoc Oenococcus</i>	<i>Pediococcus</i>	<i>Streptococcus</i>	<i>Tetragenococcus</i>	<i>Weissella</i>
Morphologie	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C
Tétrades	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-
Croissance à 10°C	+	+/-	+	+	+	+	+/-	+	-	+
Croissance à 45°C	+	+/-	-	+	-	-	+/-	+/-	-	-
Croissance à pH 4,4	nd	+/-	-	+	+/-	+/-	+	-	-	+/-
Croissance à pH 9,6	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-
Croissance à 6,5% NaCl	nd	+/-	+	+	-	+/-	+	-	+	+/-
Croissance à 18% NaCl	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Production de CO₂	-	+/-	-	-	-	+	-	-	-	+
Production d'acide lactique	L	D, L, DL	L	L	L	D	L, D, L	L	L	+/-

II.3. Habitat et origine :

Les bactéries lactiques sont très fréquentes dans la nature. Elles se trouvent généralement associées à des aliments riches en sucres simples. Elles peuvent être isolées du lait, du fromage, de la viande, des végétaux ou des alimentsensemencés par les végétaux. Elles se développent avec la levure dans le vin, la bière et le pain. Quelques espèces colonisent le tube digestif de l'homme et des animaux (LEVEAU et BOUIX, 1993 ; HASSAN et FRANK, 2001).

Les espèces du genre *Lactococcus* sont isolées du lait ou des végétaux qui sont les réservoirs naturels de la plupart de ses espèces. L'espèce *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* est isolée pour la première fois à partir du lait fermenté par Lister en 1873 et reconnue comme agent primaire de l'acidification du lait caillé). (Bergey's manual., 2009) Parmi les espèces du genre *Streptococcus*, *Streptococcus thermophilus* est isolée du lait pasteurisé, du matériel de laiterie et de levains artisanaux.

Les espèces du genre *Leuconostoc* sont isolées du lait, des produits laitiers, des fruits, des légumes (en particulier la betterave), des végétaux en fermentation (comme la

choucroute), des produits de la panification et des solutions visqueuses de sucre dans les sucreries.

Les espèces du genre *Pediococcus* sont présentes surtout dans les végétaux en décomposition, parfois dans les boissons alcoolisées, le lait, les différents fromages (Parmesan et autres fromages italiens) et les préparations culinaires (Saucisses, anchois salés ou sauce de soja). (Bekhouche., 2006).

Les espèces du genre *Lactobacillus* sont présentes dans plusieurs milieux différents : dans le lait et les fromages (*Lb. casei subsp. casei*, *Lb. plantarum*, *Lb. curvatus* et *Lb. brevis*), dans les laits fermentés (*Lb. kefir*, *Lb. brevis* et *Lb. fermentum*), dans les produits végétaux fermentés, les marinades, l'ensilage, le vin et les viandes fraîches ou fermentées (*Lb. brevis*, *Lb. Curvatus*, *Lb. buchneri* et *Lb. sanfrancisco*) (Demazeaud., 1996).

II.4. Classification des bactéries lactiques :

En 1919, ORLA-JENSEN a séparé les bactéries lactiques en deux groupes : homofermentaire, qui réunit les bactéries formant très peu de métabolites autres que l'acide lactique, celui-ci représentant 90 à 97 % du lactose métabolisé ; et hétérofermentaire, qui réunit les bactéries formant du lactate, en proportion moindre, ainsi que des concentrations non négligeables de produits secondaires et du CO₂. Ces deux familles sont ensuite subdivisées en sous-familles selon des critères morphologiques et physiologiques (DELLAGLIO et al., 1994).

Dès 1974, selon le Bergey's manual (HOLT et al., 1994), les bactéries lactiques se retrouvent dissociées en deux familles : celle des *Streptococcaceae* et celle des *Lactobacillaceae*. En 1985, Schleifer et al. ont proposé la division des streptocoques en 4 genres génétiquement distincts : *Streptococcus*, *Enterrococcus*, *Vagococcus* et *Lactococcus*, ces deux derniers regroupant les streptocoques lactiques (DELLAGLIO et al., 1994).

La classification des bactéries lactiques peut se faire aussi selon des critères phylogénétiques par l'utilisation des méthodes moléculaires. Cependant, la caractérisation phénotypique /biochimique classique demeure pratique dans l'identification préliminaire des microorganismes. Certaines caractéristiques phénotypiques sont utilisées pour identifier les espèces à l'intérieur des genres comme la capacité à : fermenter les hydrates de carbone, tolérer différentes concentrations en bile, produire des polysaccharides extracellulaires, exiger des facteurs de croissance, produire de l'acétoïne et synthétiser certaines enzymes. La composition en G+C de l'ADN, la composition en acides gras, la mobilité électrophorétique

du lactate déshydrogénase sont également d'autres critères qui peuvent être étudiés pour l'identification des espèces lactiques (VANDAMME, 1996 ; STILES et HOLZOPFEL, 1997 ; HO et al., 2007).

Parmi les classifications proposées, figure la classification selon la composition de la paroi cellulaire bactérienne (DE AMBROSINI et al., 1996), incluant la nature des acides gras, tels que l'acide lactobacillique (C19:0) et les acides gras insaturés (C14:0, C16:0, C18:0) qui la composent (GILAROVA et al., 1994).

La morphologie est considérée comme la caractéristique clé pour décrire et classifier les genres des bactéries lactiques. De ce fait, les bactéries lactiques peuvent être divisées arbitrairement en bacilles (*Lactobacillus* et *Carnobacterium*) et coques (tous les autres genres). Le genre *Weissella*, récemment décrit, est le seul genre qui comporte à la fois des bacilles et des coques (COLLINS et al., 1993 ; HO et al., 2007), (figure 7).

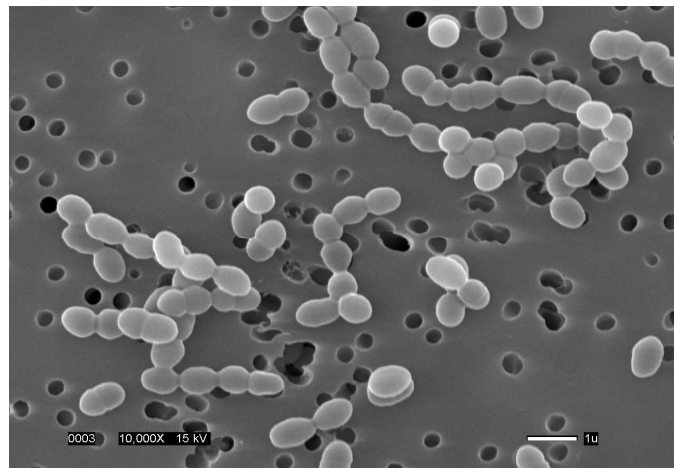


Figure 07.a. *Leuconostoc lactis* observé au M.E.T. (x 10000). (Webmaster 07)

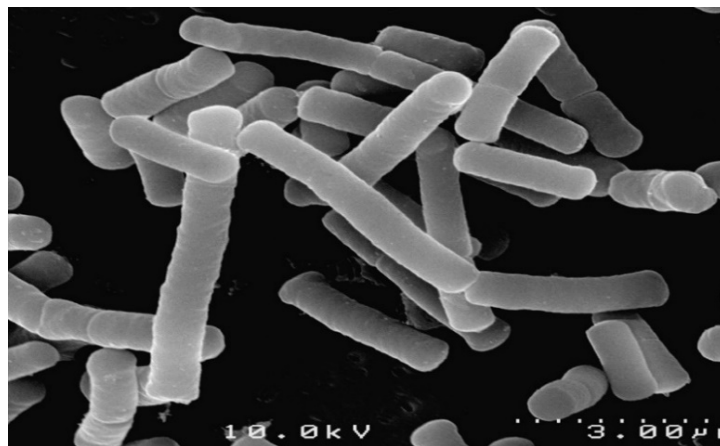


Figure 07.b. *Lactobacillus helveticus* observé au microscope électronique à transmission (M.E.T.) (x10000). (Webmaster 08).

Tableau 04. Principaux genres de bactéries lactiques (MATAMOROS, 2008).

Genre	Forme de la cellule	Type de fermentation	Configuration de l'acide lactique	Espèce type
Aerococcus	coques	homofermentaire		Ac. Viridans
Carnobacterium	bacilles	homofermentaire	L (+)	Cb. Divergens
Enterococcus	coques	homofermentaire	L (+)	Ec. Faecalis
Lactobacillus	bacilles	Homo ou hétéro-fermentaire	D(-), L (+) ou D/L	Lb. Delbrueckii
Lactococcus	coques	homofermentaire	L (+)	Lc. Lactis
Leuconotoc	coques	homofermentaire	D(-)	Ln. Mesenteroides
Oenococcus	coques	homofermentaire	D(-)	Oe. Oeni
Pediococcus	coques	homofermentaire	D/L OU L (+)	Pc. Damnosus
Streptococcus	coques	homofermentaire	L (+)	Sc. Salivarius
Tetragenococcus	coques	homofermentaire	L (+)	Tc. Halophilus
vagococcus	Coques ovoïdes	homofermentaire	L (+)	Vc. Fluvialis
weissella	Petits bacilles	homofermentaire	D/L OU D(-)	We. viridescens

II.5. Les voies fermentaires des bactéries lactiques :

La fermentation est un processus produisant de l'énergie par oxydation de composés organiques, principalement des glucides, où un donneur d'électron, NADH cède ses électrons à un accepteur endogène, le pyruvate. Dans la respiration les électrons sont donnés à un accepteur exogène, l'oxygène pour la respiration aérobie et le nitrate ou le sulfate pour la respiration anaérobie. (Prescott et al., 2003).

II.5.1. Voies fermentaires générales du métabolisme carboné :

Les bactéries lactiques utilisent principalement l'une des deux voies majeures du métabolisme des sucres. Il s'agit des voies homofermentaires (Embden-Meyerhoff- Parnas, EMP) et hétérofermentaire (voie des pentoses-phosphate). Ainsi, les bactéries lactiques sont divisées en deux groupes principaux d'espèces homo ou hétérofermentaires selon la nature et la concentration des produits terminaux issus de la fermentation du glucose.

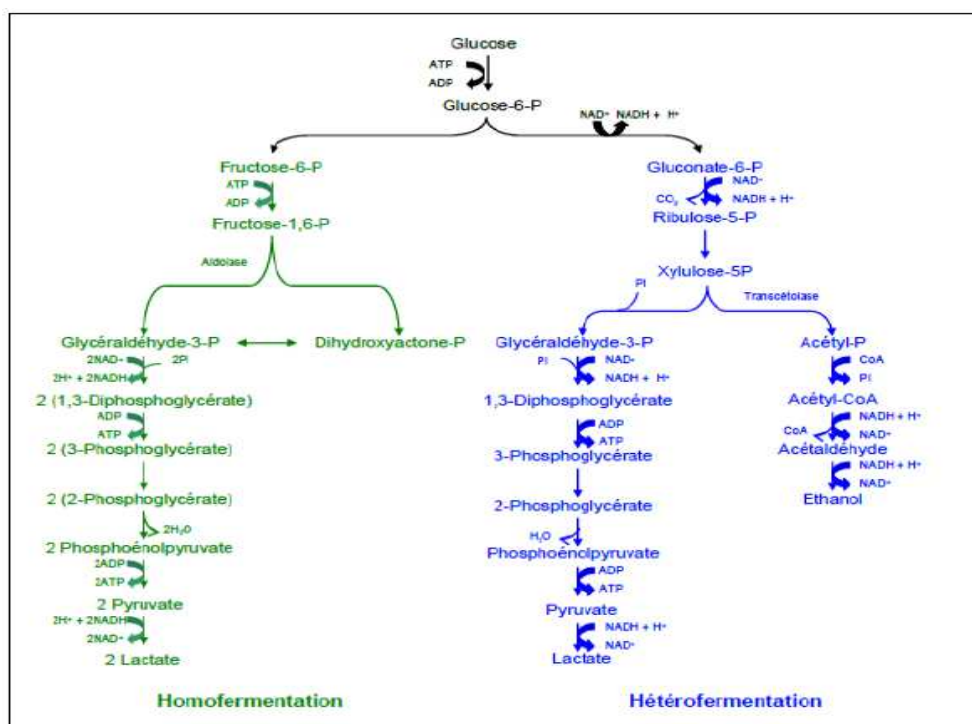


Figure 08. Représentation schématique des principales voies de fermentation des hexoses chez les bactéries lactiques. ATP : adénosine triphosphate ; ADP : adénosine diphosphate ; $\text{NAD}^+/\text{NADH}, \text{H}^+$: Couple oxydant/réducteur du nicotinamide adénine dinucléotide ; P_i : phosphate inorganique. (Makhloufi., 2012).

II.5.2. Voie homofermentaire :

Les bactéries lactiques homofermentaires comprennent les espèces de lactocoques, pédiocoques, ainsi que certains lactobacilles. Cette voie conduit dans des conditions optimales de croissance à la production de deux molécules de lactate et deux molécules d'ATP par molécule de glucose consommée (Thompson et Gentry-Weeks., 1994). Des sucres autres que le glucose peuvent également être fermentés via cette voie : monosaccharides, disaccharides, hexitols. Ces micro-organismes présentent un métabolisme de type homolactique lorsque le lactate représente plus de 90 % des produits de fermentation. Dans certaines conditions de croissance (certains sucres, limitation carbone.), le métabolisme de ces bactéries se diversifie vers un métabolisme mixte avec production en plus du lactate, de formiate, de CO_2 , d'acétate et d'éthanol (Cocaign-Bousquet et al., 1996).

La fructose-1,6-bisphosphate aldolase (FBA), est une enzyme clé présente chez toutes les espèces homofermentaires et indispensable au fonctionnement de la voie EMP. Cette enzyme catalyse la réaction menant à partir du fructose-1,6-bisphosphate (FBP) à deux

molécules à 3 carbones, le dihydroxyacétone-phosphate (DHAP) et le glycéraldéhyde-3-phosphate (GAP).

II.5.3. Voie hétérofermentaire

Les bactéries lactiques qui fermentent le glucose en produisant, en plus de l'acide lactique (moins de 1,8 moles par mole de glucose), de l'acétate, de l'éthanol et du CO₂ sont dites hétérofermentaires (**Thompson et Gentry-Weeks., 1994**). Les groupes principaux de bactéries présentant ce type de métabolisme sont les leuconostocs et certains lactobacilles.

Ces microorganismes sont dépourvus d'une FBA, d'une triose-phosphate isomérase (TPI) ainsi que d'un système PTS fonctionnel. Dans ces conditions, le glucose est accumulé par l'intermédiaire d'un transport actif puis subit une phosphorylation intracellulaire par le biais d'une glucokinase (GLK) ATP-dépendante. Le glucose-6-phosphate emprunte ensuite la partie oxydative de la voie des pentoses-phosphate qui conduit à la formation de xylulose-5-phosphate. Le xylulose-5-phosphate est scindé en acétyl-phosphate et glycéraldéhyde-3-phosphate par la D-xylulose-5-phosphate phosphocétolase, enzyme spécifique à la voie hétérofermentaire. Enfin, l'acétyl-phosphate est converti en éthanol ou en acétate, et le GAP qui rejoint la glycolyse est métabolisé en acide lactique. Le métabolisme hétérofermentaire est deux fois moins énergétique que le métabolisme homofermentaire puisqu'une mole de glucose conduit à la production d'une mole de lactate, d'éthanol, de CO₂ et d'un seul ATP.

II.6. Principales propriétés métaboliques des bactéries lactiques :

II.6.1. Utilisation des sucres :

Le métabolisme des sucres va conduire, notamment, à la production de l'acide lactique et à un fort abaissement du pH, ce qui est recherché pour la fabrication des produits alimentaires. Mais, ce processus est avant tout indispensable aux bactéries elles-mêmes, en leur fournissant de l'énergie.

Les bactéries lactiques homo-fermentaires convertissent le glucose en excès presque quantitativement en acide lactique (> 90 %). Le glucose (ou le lactose dans le cas du lait) est transporté par un système actif et, selon les espèces, peut être phosphorylé lors du transport à travers la membrane cellulaire. Dans ce cas, par exemple, les lactocoques mettent en jeu un système phospho-transférase (PTS) qui phosphoryle le sucre aux dépens du phospho-énolpyruvate (PEP). Comme le PEP est à la fois un produit et un réactif de la fermentation des

sucres, ce donneur de haute énergie phosphorylé joue un rôle-clé dans les étapes du transport et du métabolisme des sucres (**Thompson J. 1987**). Ainsi, chez les lactocoques et certains lactobacilles, le lactose du lait apparaît dans la cellule sous forme de glucosyl-fi-(1, 4)-galactoside-6-P (ou lactose-P). Il est donc prêt à être hydrolysé par une p-D-phosphogalactosidase. À l'opposé, les streptocoques thermophiles, des lactobacilles et des leuconostocs transportent le lactose sous forme libre, par l'intermédiaire d'un système perméase, puisque la présence systématique d'une B-galactosidase a été démontrée. Le glucose ou le glucose-phosphate en résultant est alors dégradé suivant la voie glycolytique d'Embden-Meyerhof-Parnas (voie EMP). Le galactose-6-phosphate est catabolisé selon la voie du D-tagatose-6-phosphate. Les germes homo-fermentaires utilisant la voie ENIP dans la dernière étape de la glycolyse convertissent le pyruvate en lactate et régénèrent ainsi du NAD^+ à partir du NADH formé auparavant. C'est précisément cette étape-clé qui permet au cycle de fonctionner. Toutes les bactéries lactiques possèdent donc une lactate-déshydrogénase. (**Thompson J, Gentry-Weeks CR. 1994**).

Les germes hétérofermentaires utilisent les voies du tagatose-6-phosphate et de la glycolyse, mais aussi celle des pentoses-phosphate. Ainsi, chez ces bactéries, la fermentation lactique conduit à la formation de quantités équimoléculaires de lactate, d'éthanol et de gaz carbonique. Une production de formiate et d'acétate peut avoir lieu, notamment en aérobiose. Avec les bifidobactéries, le métabolisme du glucose produit 1 mole de lactate et 1,5 mole d'acétate, mais aucune mole de CO_2 n'est formée. Ces germes mettent en œuvre une voie d'utilisation des sucres, différente des voies homofermentaire ou hétérofermentaire. Elle est caractérisée par l'absence d'aldolase et des taux très faibles de phosphofructokinase, et par la présence d'une enzyme-clé, la fructose-6-phosphate phosphocétolase. (**Thompson J, Gentry-Weeks CR. 1994**)

II.6.2. Utilisation des sources azotées :

Les bactéries lactiques exigent la fourniture exogène d'acides aminés pour leur croissance (**Desmazeaud M, 1983**), car elles sont, en général, incapables d'en effectuer la synthèse à partir d'une source azotée minérale simple (**Thomas TD, 1987**). Ainsi, selon les matières premières considérées, les bactéries lactiques ne satisferont qu'une partie de leurs besoins par les acides aminés libres. Elles utiliseront aussi les peptides courts. Le problème que rencontrent alors les souches est celui du transport, à travers les enveloppes bactériennes,

de ces acides aminés et peptides. Ce transport est un système, dépendant de l'énergie et de la température, pouvant être facilement saturé. Une dépendance vis-à-vis du Ph et de la concentration en sels a également été démontrée (**Michel Desmazeaud. 1996**)

Dans un certain nombre de matières premières, même si toute la fraction contenant les acides aminés libres et les peptides de bas poids moléculaire était utilisée par la bactérie lactique, les concentrations en acides aminés seraient encore trop faibles pour assurer la croissance optimum de cette dernière qui doit mettre en œuvre des enzymes protéolytiques pour se procurer des peptides lui fournissant des nutriments supplémentaires. Dans différents genres de bactéries lactiques (lactobacilles, leuconostoc, lactocoques), c'est une protéase, liée aux enveloppes cellulaires grâce aux ions calcium, qui réalise la première étape du processus de dégradation des protéines. C'est à ce niveau que certaines souches peuvent avoir des problèmes de croissance dans un milieu complexe. Certaines souches de bactéries lactiques produisent, avec une fréquence élevée, des variantes lents » qui ne se développent qu'à une densité très inférieure à celle de la souche mère. L'arrêt de la croissance de ces variantes est en effet lié l'épuisement rapide des faibles quantités d'acides aminés libres et de peptides courts présentes dans la matière première. Ces variantes, désignés, résultent de la perte de leur protéase de paroi, ce qui les rend incapables d'utiliser au mieux les protéines du milieu et de bénéficier de nutriments peptidiques supplémentaires. En général, ceci résulte de la perte d'un plasmide codant pour la synthèse de cette protéase « de paroi Ensuite, les peptides résultant de cette protéolyse seront hydrolysés jusqu'au stade acides aminés par différentes peptidases membranaires et cytoplasmiques, après leur transport dans le cytoplasme. (**Michel Desmazeaud. 1996**).

De plus, grâce à ces différentes enzymes, les bactéries lactiques vont ainsi pouvoir participer à la maturation de certains produits alimentaires, comme il sera développé ci-après lors de l'étude de leur rôle au cours de la fabrication des fromages ou de certains produits carnés (**Michel Desmazeaud. 1996**).

II.6.3. Métabolisme du citrate et d'autres substrats carbonés :

Les bactéries lactiques, en dehors de leur pouvoir fondamental d'acidification et d'assainissement, sont aussi recherchées pour leur capacité aromatisant. Les milieux naturels conduisant aux aliments renferment souvent de l'acide citrique, mais aussi, pour certains végétaux, de l'acide malique, tartrique ou du glycérol. L'acide citrique peut être utilisé par de

nombreuses espèces des genres *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc* et *Lactobacillus* (**Michel Desmazeaud. 1996**).

Dans les produits laitiers fermentés, le co-métabolisme sucre fermenté cible/acide citrique est considéré comme le principal précurseur de l'arôme du beurre (le diacétyl) (**Hughenoltz J.1993**). En œnologie, on attribue aussi la formation d'acétate, d'acétoïne et de diacétyl au catabolisme de l'acide citrique. Par ailleurs, le pyruvate peut aussi être hydrolysé par le pyruvate formate lyase en acétate et formate chez les *Bifidobacterium*. *Pediococcus halophilus* produit uniquement de l'acide formique et de l'acide acétique à partir du pyruvate. L'acide citrique est aussi métabolisé par cette voie par *Lactobacillus brevis*, *Lb. casei* et *Lb. plantarum*. (**Michel Desmazeaud. 1996**).

Un petit nombre de bactéries lactiques fermentent le glycérol. C'est le cas de *Pediococcus halophilus*, *Lactobacillus pentosus*, *Lb. helveticus* ou *Lb. reuteri*. Ce dernier dégrade le glycérol en formant des quantités égales de tri-méthylène glycol et d'acide phydroxy-propionique. Ce schéma métabolique, en présence d'une forte concentration de glycérol, peut conduire à la production d'une substance antimicrobienne, la reutéline, actuellement commercialisée pour lutter contre les bactéries pathogènes dans certains produits alimentaires. (**Talarico TL, Casas IA, Chung TC, Dobrogosz WJ.1988**)

II.6.4. Métabolisme de l'oxygène :

Les bactéries lactiques sont souvent appelées bactéries anaérobies facultatives, mais ce terme cache une grande variété de comportements de ces germes vis-à-vis de l'oxygène. Certaines y sont très sensibles (*Bifidobacterium* sp.), d'autres beaucoup moins (*Lactobacillus plantarum*). Généralement, les chaînes transportant les électrons ne fonctionnent pas, mais des étapes d'oxydo-réduction du NAD interviennent. Dans les conditions d'aérobiose, chez la plupart des bactéries lactiques, les molécules de NAD réagissent avec l'oxygène pour former du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) ou une molécule d'eau grâce des NADH : H_2O_2 ou NADH : H_2O oxydases. De plus, diverses enzymes conduisent généralement à l'accumulation de peroxyde d'hydrogène qui est plus ou moins toxique pour la bactérie lactique productrice. Notamment dans le cas du lait, le peroxyde d'hydrogène est le constituant d'un système inhibiteur naturel devant comporter aussi une peroxydase et du thiocyanate comme accepteur d'électrons. La peroxydase du lait est la lacto-péroxydase, enzyme assez thermorésistante, trouvée à environ 70 mg/litre. Le thiocyanate vient de la catalyse, dans le foie, de thiosulfate

ou de glucosides particuliers de l'alimentation des vaches laitières, notamment ceux des crucifères Ou de certaines légumineuses. Si le lait contient de l'oxygène dissous, le peroxyde d'hydrogène produit par les bactéries lactiques dans ces conditions va activer l'oxydation du thiocyanate par la lactoperoxydase, en un intermédiaire oxydé : l'hypothiocyanate (**Piard JC, Desmazeaud M.1991**).

Ce composé est un inhibiteur de la croissance microbienne car il bloque le fonctionnement de certaines enzymes clés intervenant dans la glycolyse, comme l'hexokinase. L'action bactériostatique de ce système entraine des irrégularités d'acidification par les levains lactiques, qui peuvent ainsi s'auto-inhiber car ils y sont sensibles.

Cependant, on peut sélectionner des levains qui y sont résistants. Mais, comme il peut être bactéricide pour certaines bactéries de contamination, voire pathogènes, la Fédération internationale de laiterie a proposé d'utiliser les propriétés de ce système inhibiteur pour améliorer la conservation temporaire du lait cru dans les pays chauds dépourvus d'équipement de réfrigération, En effet, il est possible d'activer le système lactoperoxydase du lait cru en le supplémentant par 8 à 9 ppm de H₂O₂ et par 10 ppm de thiocyanate, pour pallier les variations naturelles des concentrations de thiocyanate dans la matière première ou de production de H₂O₂ par les bactéries. Cette addition entraine la formation in situ du système antimicrobien. Le procédé est d'autant plus intéressant que les produits actifs de l'oxydation du thiocyanate sont instables et détruits par la pasteurisation. Il a été prouvé qu'il n'y avait aucun risque toxicologique aux doses de thiocyanate utilisées. Ainsi, le système lactoperoxydase activé est beaucoup plus spécifique que l'oxydation générale qui pouvait être obtenue par addition de 300 à 800 ppm de H₂O₂ dans le procédé approuvé en 1957 par la FAO. (**Michel Desmazeaud. 1996**).

II.6.5. Production des bactériocines :

Les bactéries lactiques sont des très bons producteurs des bactériocines, qui sont des protéines, ou complexes de protéines, avec une activité bactéricide contre des espèces proches de la souche productrice. Les bactériocines représentent une large classe de substances antagonistes qui varient considérablement du point de vue de leur poids moléculaire, de leurs propriétés biochimiques, de leur spectre d'action et de leur mode d'action (**Klaenhammer, 1988**).

Toutes les bactériocines produites par des bactéries lactiques décrites jusqu'à présent ont une activité dirigée contre les bactéries Gram+. Aucune bactériocine produite par des bactéries lactiques avec une activité contre des bactéries Gram- n'a été décrite, la membrane externe des bactéries Gram- ne permettant pas aux bactériocines d'atteindre la membrane interne, siège de leur activité. (**Klaenhammer, 1988**).

a) Classification des bactériocines :

Les bactériocines produites par les bactéries lactiques sont réparties en quatre classes, comme proposé par **Klaenhammer (1993)**. Ces quatre classes sont :

Classe I : Les lantibiotiques : peptides de taille inférieure à 5 kDa, stables à la chaleur et qui contiennent des acides aminés inhabituels soufrés formés post-traductionnellement, c'est-à-dire la lanthionine, la β -méthyl lanthionine, la déhydrobutyrine et la déhydroalanine. Ils peuvent être divisés en deux types : la classe Ia qui comprend des peptides cationiques hydrophobes allongés contenant jusqu'à 34 acides aminés et la classe Ib qui comprend les peptides globulaires chargés négativement ou sans charge nette et contenant jusqu'à 19 acides aminés (**McAuliffe et al., 2001 ; Twomey et al., 2002**). Certains lantibiotiques sont par ailleurs constitués de deux peptides agissant ensemble pour avoir une activité comme la lacticin 3147. Les séquences et structures d'un lantibiotique de chaque type se trouvent à la **Figure 09**.

Classe II : Peptides de taille inférieure à 10 kDa, stables à la chaleur, ne contenant pas d'acides aminés modifiés. Leur point isolélectrique varie entre 8 et 10. Les séquences de quelques bactériocines appartenant à cette classe se trouvent au **tableau 05**. Cette classe est divisée en trois sous-classes. Les bactériocines de la sous-classe II a contiennent entre 27 et 48 acides aminés et ont toutes une partie N-terminale hydrophobe contenant la séquence consensus YGNGV ainsi qu'un pont disulfure et une partie C-terminale moins conservée, hydrophobe ou amphiphile qui détermine la spécificité d'action (**Fimland et al., 2000 ; Richard et al., 2006**). Elles ont toutes une activité contre *Listeria monocytogenes*. Certaines bactériocines de cette sous-classe contiennent également un deuxième pont disulfure dans leur domaine C-terminale qui semble être important dans la stabilisation de la structure tertiaire. Il semble par ailleurs qu'il leur conférerait une meilleure activité antimicrobienne, une meilleure résistance à l'exposition à des hautes températures et un spectre d'action plus large (**Eijsink et al., 1998 ; Fimland et al., 2000 ; Drider et al., 2006 ; Richard et al., 2006**). La sous-classe

Classe III : Protéines de taille supérieure à 30 kDa et sensibles à la chaleur. La structure et le mode d'action de ces bactériocines diffèrent complètement des autres bactériocines produites par les bactéries lactiques. Cette classe ne contient que quatre bactériocines : l'helveticin J produite par *Lactobacillus helveticus*A, l'enterolysin A produite par *Enterococcus faecium*, la zoocin A produite par *Spreptococcus zooepidemicus* et la millericin B produite par *Streptococcus milleri* (Nilsen et al., 2003 ; Papagianni, 2003 ; Nigutova et al., 2007).

Nisine

Mersacidine

Lacticine 3147 A1

Lacticine 3147 A2

Page | 28

Tableau 05. Séquence de quelques bactériocines de classe II. (Fimland et al., 2000)

ClasseIIa: « Pediocin-like bacteriocin »		
Mésentéricine Y105		MTNMKSVEAYQQLDNQNLKKVVGGKYYGNGVHCTKSGCSVNWGEAASAGIHLRLANGGNGFW
Sakacine P		-----MEKFIELSLKEVTAITGGKYYGNGVHCGKHSCTVDWGTAGNIGNNAAANWATGWNAGG
Curvacine A		-----MNNVKELSMTELQTITGGARSYGNGVYCNKKCWVNRGEATQSIIGGMISGWASGLAGM
Piscicoline 126		-----MKTVKELSVKEMQLTITGGKYYGNGVSCNKGCTVDWSKAIGIIGNNAAANLTTGGAAGWNKG
Carnobactériocine Bm1		-----MKSVKELNKKEMWWINGGAISYGNGVYCNKEKCWVNKAENKQAITGIVIGGWASSLAGMGH
Pédiocine PA-1		-----MKKIEKLTEKEMANIIIGGKYYGNGVTCGKHSCTVDWGKATTCTIINNGAMAWATGGHQGNHKG
Entéroccine A		-MKHLKILSIKETWLIYGGTTHSGKYYGNGVYCTKNKCTVDWAKATTCTIAGMSIGGFLGGAIPGKC
Sakacine G		-----MKNTRSLTIQEIKSITGGKYYGNGVSCNSHGCNVNWGQAWTCGVNHLANGGHGGVC
Classe IIb: « Pediocin-like bacteriocin »		
ABP-118	α	KRGPNCVGNFLGGLFAGAAAGVPLGPAGIVGGANLGMVGGALTCL
	β	KNGYGGSGNRWVHCGAGIVGGALIGAIGGPWSAVAGGISGGFTSCR
Lactocine 705	α	MDNLNKFKKLSDNKLQATIGG
	β	MESNKLEKFANISNKDLNKITGG
Lactococcine MN	M	IRGTGKGLAAAMVSGAAMGGAIGAFGGPVGAIMGAWGGAVGGAMKYSI
	N	GSIWGA IAGGAVKGAI AASWTGNPVGIGMSALGGAVLGGVTTYARPVH
Plantaricine EF	E	FNRRGYNFGKSVRHVVDAIGSVAGIRGILKSIR
	F	VFHAYSARGVRNNYKSAVGPADWVISAVRGFIHG

II.7. Les principales utilisations des bactéries lactiques en alimentation humaine :

II.7.1. Produits laitiers :

Les bactéries lactiques sont à la base de la fabrication des fromages, des yaourts, des laits fermentés et du kéfir. Selon les types de fromages considérés (**Mietton B, Desmazeaud M, de Roissart H, Weber F 1994**), la coagulation du lait est obtenue par les actions conjuguées des enzymes coagulantes et des bactéries lactiques. Le rôle principal de ces bactéries est l'abaissement du pH du lait ou des caillés, selon des cinétiques spécifiques à chaque fabrication. Comme il a été décrit précédemment, la production d'acide lactique, responsable de la chute du pH, se fait aux dépens du lactose du lait et du caillé. Le caillé obtenu par l'action des enzymes protéolytiques de la présure restant à un pH proche de celui du lait (6,6 environ) n'est pas déminéralisé.

Il existe dans le monde une très grande variété de types de yaourts et de laits fermentés, obtenus à partir de lait de vache, mais aussi de lait de brebis, de chèvre, de jument, de bufflesse, d'ânesse ou de chamelle. On utilisera, selon les cas, soit les streptocoques thermophiles et les lactobacilles thermophiles, soit les lactocoques, les leuconostocs et les lactobacilles mésophiles, soit ces bactéries lactiques associées des levures (dans le cas du kéfir) ou à des bifidobactéries. Le yaourt constitue un bon exemple de produit de grande consommation qui a connu un essor industriel sans précédent au cours des trois dernières décennies, dans tous les pays du monde. Cette fermentation lactique est due essentiellement la culture associée de deux espèces *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. La maîtrise de la croissance et des métabolismes de cette culture mixte que constitue le yaourt n'est pas sans poser différents problèmes de régularité des qualités finales des produits, car des interactions (stimulation ou inhibition) entre les espèces perturbent la stabilité des équilibres bactériens. La dégradation du lactose, sucre du lait, est le fait marquant de la transformation du lait en yaourt. *S. thermophilus* conduit de l'acide lactique de forme L(+) tandis que *Lb. Bulgaricus* conduit à l'acide lactique (D-). Comme ces bactéries métabolisent plutôt la moitié glucose du lactose que le galactose, ce dernier est rejeté hors de la cellule et s'accumule dans le yaourt. Le PH atteint variant entre 4,35 et 4,50, le complexe calcium-caséines-phosphate est déstabilisé, car les caséines sont proches de leur point iso-électrique (pH 4,6), ce qui entraîne la prise en masse du produit et la formation d'un coagulum assez fragile. (**Michel Desmazeaud. 1996**).

II.7.2. Produits carnés :

Les saucisses fermentées semi-séchées se caractérisent par une fermentation souvent rapide, à des températures relativement élevées (21 à 46 °C) les pH finaux sont donc souvent inférieurs à 5,3. Au contraire, les saucisses fermentées séchées ou les saucissons secs subissent une fermentation lente de plusieurs jours, à des températures relativement basses de 11 à 23 °C (phase d'étuvage), avant d'être séchées pendant plusieurs semaines en chambre froide. Leur teneur en eau est basse (**Montel MC, Talon R, Cantonnet M,1992**).

La dégradation des lipides par les lactobacilles est faible dans les produits carnés fermentés. En revanche, on recherche une certaine protéolyse, parce que les peptides et les acides aminés sont des précurseurs d'arômes dans ces produits. Par ailleurs, les lactobacilles produisent des peroxydes et de l'eau oxygénée qui s'accumulent dans le milieu malgré la présence des catalases tissulaires et microbiennes. Ces composés ont une action antimicrobienne contre *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas*. Les lactobacilles produisent aussi des bactériocines actives contre les germes potentiellement pathogènes comme *Listeriamonocytogenes*, les pédiocoques produisent la pédiocine, *Lb. plantarum* sécrète deux plantaricines et *Lb. sake* synthétise la sakacine (**Klaenhammer TR.1993**).

II.7.3. Produits de la pêche :

La plupart de ces produits sont obtenus par des pratiques ancestrales empiriques, notamment en Asie où les bactéries lactiques n'interviennent pas seules mais associées à d'autres fermentations, à des hydrolyses enzymatiques, voire des réactions purement chimiques. Dans les pays scandinaves, le hareng est mis en tonneaux avec 15 à 17 % de sel, du sucre et des épices. On obtient les *gaffelbitaroutitbits*, où *Pediococcus halophilus* est le plus fréquent, avec *Lactobacillus buchneri*, *Lb. brevis* et *Leuconostoc mesenteroides*. (**De Roissart H, Luquet FM 1994**).

Les sauces obtenues à partir de poissons représentent des volumes consommés considérables. Si la plupart des phénomènes sont dus à des activités protéolytiques du poisson, on attribue aussi un rôle au développement de *Pediococcus halophilus*. De même, dans les pâtes de poisson asiatiques, on met en avant l'activité fermentaire de *Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus damnosus* ou *Pd. halophilus* et *Leuconostoc mesenteroides*. (**De Roissart H, Luquet FM 1994**).

II.7.4. Produits végétaux :

On sait favoriser, empiriquement, la conservation des végétaux en réalisant, sous l'action des bactéries lactiques, la production d'acide lactique inhibant les fermentations indésirables. En général, cette opération est conjuguée avec un salage ou un saumurage en conditions les plus anaérobies possibles. En Europe, le chou est fermenté en choucroute, différents légumes et végétaux donnent les pickles aux États-Unis, le kimchi en Corée, le miso au Japon ou le gari en Afrique.

La fermentation lactique des végétaux est une technique largement utilisée dans les pays ne bénéficiant pas d'une structure industrielle, car elle peut être effectuée avec des moyens locaux très simples (Cooke RD, Twiddy DR, 1987). Dans nombre de cas, au départ, après lavage de la matière première, les bactéries lactiques sont peu nombreuses. Elles appartiennent essentiellement aux espèces *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus plantarum* et *Pediococcus damnosus*. L'addition de sel aux végétaux fait apparaître une phase liquide par plasmolyse. Celle-ci va réaliser une certaine anaérobiose et contenir les éléments solubles indispensables à une bonne croissance des ferments lactiques. Sous l'influence de l'acidité, *Lb. plantarum* arrête sa croissance en premier, *Lb. brevis* continuant la fermentation en utilisant les sucres résiduels comme les pentoses. (Michel Desmazeaud. 1996).

II.8. Camembert :

II.8.1. Histoire du camembert :

Patrimoine culturel et gastronomique national, le camembert est bien plus qu'un fromage, un véritable symbole de la France, qui résonne à la fois sur le territoire et au-delà de ses frontières.

Sa recette est attribuée à Marie Harel, une fermière du Manoir de Beaumontel, tout proche de la fromagerie Durand actuelle. C'est là que se réfugie en pleine Révolution Française, un prêtre réfractaire originaire de Brie, dont les conseils avisés sont à l'origine du premier camembert fabriqué par Marie Harel en 1791. En moulant le lait caillé avec une louche et en le laissant s'affiner plusieurs jours, elle obtient le camembert. Ses enfants et petits-enfants développent par la suite la fabrication et la commercialisation du Camembert.

En 1850, l'ouverture de la voie de chemin de fer entre la Normandie et Paris permet l'essor considérable de la production de fromages. 6 heures de train suffisent désormais pour que les camemberts se retrouvent sur les étals parisiens, contre 3 jours en diligence jusqu'alors !

Toutefois les fromages voyagent sur un lit de paille, ce qui ne leur permet de parcourir que de courts trajets. Il faudra attendre 1890 l'invention de la célèbre boîte en bois de peuplier par Jules Charrel pour ouvrir largement les portes du succès au camembert, grâce à un acheminement dorénavant sans dommage sur de longues distances.

Depuis 1983, le camembert de Normandie, son terroir ainsi que ses procédés de fabrication bénéficient d'une AOC (Appellation d'Origine Contrôlée). En 1993 il est reconnu au niveau Européen par une certification AOP (Appellation d'Origine Protégée) (**Web master 09**).

II.8.2. Définition :

Le Camembert est un fromage à pâte molle, affiné en surface, principalement par des moisissures, conformément à la Norme générale pour le fromage (**CODEX STAN283- 1978**), qui se présente sous la forme d'un cylindre plat ou de morceaux dit cylindre. La pâte a une couleur allant du blanc cassé au jaune pâle et une texture molle (lorsqu'on appuie dessus avec le pouce) mais non friable, affinée de la surface au centre du fromage. Les trous de gaz sont généralement absents, mais la présence de quelques ouvertures et fissures est acceptable. Une croûte molle, entièrement recouverte des moisissures blanches. Le fromage entier peut être coupé ou formé en morceaux avant ou après le développement des moisissures.

Selon **VEISSEYRE (1975)**, le Camembert est défini comme étant un fromage à pâte molle, à caillé non divisé en forme de cylindre plat. Il a un diamètre de 10 à 11 cm et une épaisseur de 3 cm. Il renferme au moins 40 % de matière grasse et 110 g de matière sèche. C'est un fromage affiné à moisissures superficielles, originaire de Normandie (France).



Figure 10 : Fromage à pâte molle « camembert » (web master 10)

II.8.3. Composition et valeur nutritionnelles :

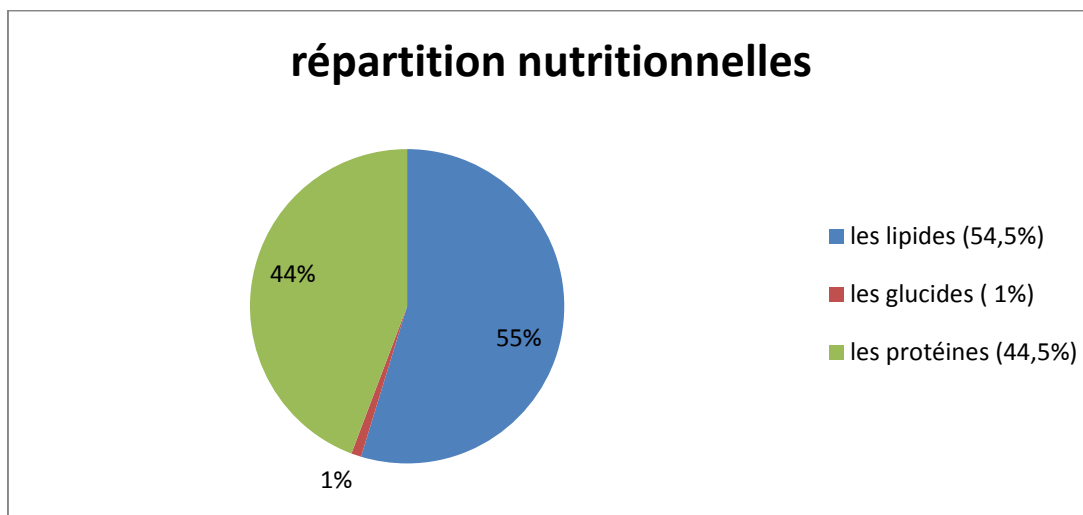


Figure 11 : les valeurs nutritionnelles pour une portion de 100 grammes de camembert (web master 11)

Tableau 06 : Teneur en protéines pour 100 grammes de camembert (**web master 11**).

PROTÉINES	19.8 g
Tryptophane	0.307 g
Thréonine	0.717 g
Isoleucine	0.968 g
Leucine	1.84 g
Lysine	1.766 g
Méthionine	0.565 g
Cystine	0.109 g
Phénylalanine	1.105 g
Tyrosine	1.145 g
Valine	1.279 g
Arginine	0.701 g
Histidine	0.683 g
Alanine	0.819 g
Acide aspartique	1.288 g
Acide glutamique	4.187 g
Glycine	0.379 g
Proline	2.346 g
Sérine	1.114 g

Tableau 07 : Teneur en lipides pour 100 grammes de camembert (**web Master 11**).

LIPIDES	24.26 g
Cholestérol	72mg
Acides gras saturés	15.259 g
Acide butyrique (4:0)	0.494 g
Acide caproïque (6:0)	0.283 g
Acide caprylique (8:0)	0.26 g
Acide caprique (10:0)	0.59 g
Acide laurique (12:0)	0.442 g

Acide myristique (14:0)	2.686 g
Acide palmitique (16:0)	7.227 g
Acide stéarique (18:0)	2.524 g
Acides gras monoinsaturés	7.023 g
Acide érucastique (20:1ω-9)	0g
Acide cétoléique (22:1 ω-11)	0g
Acide oléique (18:1 ω-9) (cis et/ou trans)	5.752 g
Acide palmitoléique (16:1ω-7) (cis et/ou trans)	0.883 g
Acide cétoléique (22:1ω-11) (cis et/ou trans)	0g
Acides gras polyinsaturés	0.724 g
Acide linoléique LA (18:2ω-6) (cis et/ou trans)	0.357 g
Acide arachidonique AA (20:4ω-6)	0g
Acide linoléique LA (18:2ω-6)	0.45 g
Acide gamma-linolénique GLA (18:3 ω-6)	0g
Acide dihommo-gamma-linolénique(20:3ω6)	0g
Acide arachidonique AA (20:4ω-6)	0g
Acide docosahexaénoïque DHA (22:6ω-3)	0g
Acide stéaridonique (18:4ω-3)	0g
Acide docosapentaénoïque (22:5ω-3)	0g
Acide eicosatriénoïque (20:3ω-3)	0g
Acide alpha-linolénique LNA (18:3 ω-3)	0.27g

Tableau 08 : Teneur en glucides pour 100 grammes de camembert (web Master 11)

Glucides	0.46g
Sures simples et autres sucres	0.46g

Tableau 09 : valeur énergétique pour 100 gramme de camembert (web Master 10).

ENERGIE (KCAL)	300Kcls
Energie (kJ)	1253 kJ

Tableau 10 : Teneur en vitamines et assimilés (web Master 11).

Vitamine D (mcg)	0.4 µg
Vitamine C	0 mg
Thiamine (Vitamine B1)	0.028mg
Riboflavine (Vitamine B2)	0.488mg
Niacine (vitamine B3 ou PP), en équivalent en niacine totale	5.74667NE
Acide pantothénique (Vitamine B5)	1.364mg
Vitamine B	60.227 mg
Vitamine B	121.3 µg
Vitamine K	2 µg
Vitamine A et provitamine A, en équivalents d'activité du rétinol (EAR)	241 µg
Equivalents de folate alimentaire (EFA)	62 µg

Tableau 11 : Minéraux et oligo-éléments (web Master 11)

Calcium	388 mg
Fer	0.33 mg
Magnésium	20 mg
Phosphore	347 mg
Potassium	187 mg
Sodium	842 mg
Zinc	2.38 mg
Cuivre	0.021 mg
Manganèse	0.038 mg
Sélénium	14.5 µg

Tableau 12 : Autres constituants (web Master 11).

Eau	51.8g
Caféine	0mg
Théobromine	0mg
Cendre	3.68g

II.8.4. Procédé de fabrication du « camembert » :

La production de ce type de fromage passe par de nombreuses étapes technologiques dont principalement : maturation, la coagulation, l'égouttage et enfin l'affinage.

II.8.4.1. Préparation du lait :

Dans de nombreuses fabrications de fromages fermiers, le lait, encore tiède, est mis en coagulation dès la traite, après une simple filtration. Dans certains cas, on laisse le lait reposer quelques heures dans un local frais afin de procéder à un écrémage partiel en recueillant la crème montée à la surface et afin de permettre le démarrage de la flore lactique intervenant dans la coagulation et l'égouttage. Ces procédés ont l'avantage de permettre d'utiliser et de conserver sur place, de façon très simple, le lait et constituent un moyen non négligeable d'améliorer les ressources alimentaires et les revenus des éleveurs. Leur inconvénient est de donner des produits de qualité variable. En outre, ils sont inapplicables aux laits de mélange

soumis au transport, à la réfrigération et au stockage, dont les aptitudes technologiques sont toujours modifiées et irrégulières.

A l'usine, la valorisation de ces laits ainsi que la nécessité de produire des fromages de composition régulière et de qualité hygiénique et organoleptique bonne et constante imposent la mise en œuvre d'une matière première dont le comportement est chaque jour identique. Pour cette raison, on est amené à faire subir au lait des correctifs avant de le mettre en fabrication. La préparation du lait comprend plusieurs opérations (citées ci-après), certaines pouvant être facultatives ou obligatoires selon la technologie, la réglementation, les produits voulus, etc. (FAO, 1995).

II.8.4.2. Nettoyage du lait par filtration statique ou centrifuge :

Il permet de retenir les impuretés du lait, l'opération centrifuge est plus efficace, elle retient notamment les leucocytes (FAO, 1995).

II.8.4.3. La standardisation :

La composition du lait est variable, Selon les espèces, le type d'alimentation et les saisons. Elle consiste à donner au lait la composition correspondante à celle du fromage à élaborer. Elle est réalisée par un ajustement de la teneur en matière grasse (qui doit se situer autour de 28 g/l de lait) et parfois du taux de protéines (qui doit être supérieur à 31 g/kg de fromage) (ABDOUNE, 2003).

II.8.4.4. Pasteurisation :

La pasteurisation est un traitement thermique qui entraîne la destruction de la plupart des formes végétatives des micro-organismes banaux, celle de tous les micro-organismes pathogènes. (Guiraud, 2003)

Les laits mis en œuvre dans l'industrie fromagère subissent des traitements thermiques préalables dont l'importance se manifeste dans leur assainissement ainsi que dans leur stabilisation. Selon la température atteinte et la durée du chauffage, le traitement thermique utilisé influe, d'une part, sur la concentration de la flore microbienne initiale et, d'autre part, sur la composition physico-chimique du lait. (ECK A., 1990)

Ainsi, la thermisation (traitement qui a lieu à 64°C pendant 15 à 20 secondes) est surtout utilisée pour détruire les bactéries psychotrophes, qui se développent dans un lait ayant subi, soit une réfrigération à la ferme, soit un stockage réfrigéré au niveau de la fromagerie. Ces bactéries surtout les espèces des genres : *Pseudomonas*, *Achromobacter* et

Flavobacterium produisent des lipases et des protéases exo-cellulaires résistantes à la pasteurisation (72-74°C, 15-20 sec) et même à la stérilisation UHT (132°C, 1-2 sec) (**LENOIR et al, 1983**).

II.8.4.5. Maturation du lait :

Après la pasteurisation, le lait doit maturé (**Anonyme, 1995**).

La maturation est l'étape d'introduction de la flore lactique sélectionnée qui va participer, d'une part, à la coagulation du lait (en provoquant l'acidification), et d'autre part, à l'affinage du fromage (rôle dans l'activité protéolytique). Le lait (petit volume) estensemencé par des ferments lactiques mésophiles à une dose de 1,5 à 2% (**LENOIR et al, 1983**).

Un temps de maturation suffisant est laissé dans le but de permettre la multiplication et le développement des souches de bactéries lactiques inoculées (**BERTRAND, 1988**).

Une fois ses souches revivifiées, le levain (tel que préparé) servira à ensemercer les grandes cuves de coagulation. On introduit également des levains fongiques qui jouent un rôle important dans le phénomène de l'affinage. Il s'agit de spores de *Penicillium Camemberti*, ainsi que *Geotrichumcandidum*.

II.8.4.6. Emprésurage et coagulation (caillage) :

L' emprésurage correspond au moment où l'on ajoute la présure en vue de provoquer sa coagulation, Ce dernier est l'étape la plus importante dans la fabrication du fromage.

Suivi par une coagulation qui se traduit par la formation d'un gel (ou coagulum) qui résulte dans le cas du Camembert, des modifications physico-chimiques. Pour les fromages à pâtes molles, la coagulation est généralement mixte. Elle est provoquée par l'action conjuguée de la présure (coagulation enzymatique) et les bactéries lactiques (coagulation acide). Dans le cas de la coagulation acide (provoquée par l'acide lactique d'origine bactérienne), l'abaissement du pH induit la solubilisation du calcium et du phosphate inorganique. Par équilibre, le pont salin dégarni peu à peu les micelles. Ces dernières, vont se lier entre-elles et former un gel cassant, très friable et peu élastique (**Hardy J., 2004**).

II.8.4.7. L'égouttage :

C'est l'étape qui permet la séparation du lactosérum du caillé. Son but est non seulement de régler la teneur en eau du caillé mais aussi la minéralisation de ce dernier et son délactosage. Dans le cas du Camembert, des traitements mécaniques tels que le découpage, le brassage, le moulage et les retournements sont utilisées pour permettre l'élimination du lactosérum (**St Gelais et Tirard-Collet, 2002**).

L'égouttage du caillé Camembert est très modéré comparé à d'autres variétés de fromages.

II.8.4.8. Salage :

Le salage constitue une phase importante de la fabrication de beaucoup de fromage à l'exception de la plupart des fromages frais qui ne sont pas salés ; il consiste à enrichir la pâte en chlorure de sodium, au taux moyen de 2% (Ramet, 1985) ; elle peut s'élever à 3-4% (**Alais et Linden. 1997**).

Brièvement, le salage joue un triple rôle dans la fabrication fromagère:

- ✓ Il complète l'égouttage et contribuera ainsi à la formation de la croûte.
- ✓ Il règle l'activité de l'eau et ainsi favorise ou freine le développement des Microorganismes tout en régulant les activités enzymatique.
- ✓ Il révèle la saveur propre du fromage en influençant le goût et en renforçant les arômes.

II.8.4.9. Ressuyage :

Le ressuyage a pour fonction d'assécher la surface du fromage dans une salle dédiée. L'objectif de cette opération est de favoriser le développement de la flore recherchée, en limitant celui des bactéries et autres indésirables (**web Master 12**).

II.8.4.10. L'affinage :

L'affinage est la dernière étape de la transformation fromagère. Sa durée varie de quelques jours à quelques mois selon le type de fromage et ce, afin d'obtenir les qualités texturales et organoleptiques désirées. Dans le cas des pâtes molles type camembert, l'affinage se fait également de la surface vers l'intérieur, la période d'affinage du Camembert est généralement courte, soit entre 12 et 45 jours et se déroule à une température variante habituellement entre 12 et 14° C. Les fromages sont généralement entreposés dans un lieu d'affinage permettant de contrôler l'humidité relative entre 85 et 95 % (**Cholet, 2006**),

Le pH à la fin d'affinage du Camembert atteint environ 7,4 en surface et 6,9 au centre. Les fromages de type camembert sont emballés sous film et boîte en bois ou en carton. Les propriétés des films d'emballage peuvent différer en termes de perméabilité aux gaz et à la vapeur d'eau et permettre ainsi de maîtriser l'évolution de l'affinage jusqu'au moment de la consommation. (**BENLOUCIF R. OULMI A., 2017**)

Chapitre III

Les fibres alimentaires et leurs propriétés

III.1 Historique :

Au fil du temps, les méthodes analytiques ont réussi à améliorer notre définition des fibres alimentaires qui est devenue de plus en plus étoffée, aussi bien sur le plan scientifique que réglementaire. La première définition a été établie en 1929, et a continué à s'améliorer jusqu'à dernièrement en ans 2000.

En 1929, McCance et Lawrence les ont définis comme "glucides indisponible". Les années 1950 a vu l'apparition de plusieurs définitions autour des fibres alimentaires Hipsley l'a défini comme étant des molécules indigestes par l'homme se trouvant dans les cellules des parois des végétaux

En 1972, Trowell émis plusieurs hypothèses sur le bénéfice de ces fameuses molécules sur la santé, notamment pour la prévention du cancer du côlon, Trowell a donc défini ces molécules comme des restes squelettique résistant à l'hydrolyse par l'homme et l'a appelé " fibre brute "

En 1976, Trowell et quelques collègues ont découvert que la paroi cellulaire et quelques composants de la cellule végétale n'étaient pas hydrolysés par les enzymes de l'homme et ont décidé de changer la définition qu'il a lui-même donné.

L'année de 1976 a également vu la découverte de l'importance de ces fibres pour la diminution du cholestérol dans le sérum et aplanirait la glycémie postprandiale .La caractéristique "endogène" fut ajoutée aux fibres pour préciser que les matières issues de la digestion ne faisaient pas partie de cette catégorie. De plus, les mucilages et les phytates et toutes les molécules solubles dans l'eau en font bien partie.

En 1984, les fibres sont définies par les " règlements de la nourriture " de la Nouvelle-Zélande comme une molécule issue des plantes, comestible mais non hydrolysée par les enzymes endogènes du tube digestif, il est mesuré par la première méthode d'analyse accepté par l'AOAC (Association Of AnalyticalCommunities).

En 1987, la méthode AOAC 985.29 est adoptée par la FDA (organd de certification américaine des aliments et des médicaments) pour identifier la fibre alimentaire, sachant que la définition de Trowell était la base de la FDA pour l'acceptation des méthodes AOAC pour isoler la molécule. Ces méthodes éliminent tous les oligosaccharides (avec un degré de polymérisation de 3 à 9) et gardent uniquement les polysaccharides, la lignine et l'amidon résistant aux enzymes : amylase, protéase et amyloglucosidase.

En 1987, une nouvelle définition incluant les polysaccharides non constitués d'amidon

ainsi que la lignine est proposée par la LSRO. Elle exclut donc les phytates, la cutine, les saponines, les lectines, des protéines, des cires, le silicium qui sont des substances associées aux fibres trouvées dans la paroi. Certaines substances incluent des molécules non digérées par les enzymes mais ne sont pas des fibres alimentaires car ce sont des molécules non digestibles créées par la cuisson ou le traitement, des oligosaccharides et les polymères de glucides (dont le degré de polymérisation est inférieur à 50-60) et des polymères de glucides synthétiques.

En 1988, le système de santé du Canada publie des directives pour de nouvelles sources de fibres et produits alimentaires sous le nom de " source de fibre " en addition aux sources incluses dans la Définition de 1985, Ces directives ont établies des normes de sécurité, d'efficacité et de la source de fibres alimentaires devant être respectées pour pouvoir qualifier la molécule de " source de fibre ", tout cela en passant par les expériences humaines.

Les critères d'efficacité sont les suivantes : effet laxatif, normalisation du niveau de lipides dans le sang et l'atténuation de la réponse glycémique (**SEYER ,2005**).

A la fin des années 80, plusieurs pays européens adoptent la définition des fibres alimentaires " le matériel comestible ne pouvant pas être dégradé par les enzymes endogènes humaines " et s'en suit une évolution progressive de l'étiquetage dans ces différents pays, à mesure de la découverte des différents composés entrant dans ladite définition.

En 1998, le comité sur les aspects médicaux de la politique alimentaire nutritionnelle (COMA) du Royaume-Uni propose une définition des fibres alimentaires comme étant des polysaccharides non amylacés. En 2000, l'Agence des normes alimentaires britannique reconnaît cette définition.

En mai 2000, l'AACC (American Association for Clinical Chemistry) donne une nouvelle définition des fibres. Elle les désigne comme étant la partie comestible ou les glucides analogues qui ne sont ni digérés, ni absorbés dans l'intestin grêle mais qui sont partiellement ou complètement fermentés dans le côlon et, comme ayant des effets physiologiques bénéfiques (effets laxatifs et/ou une diminution de la cholestérolémie et/ou une diminution de la glycémie).

Elles comprennent les oligosaccharides, la lignine et les substances végétales associées.

En novembre 2000, l'Autorité australienne des aliments pour la Nouvelle-Zélande (ANZFA), récemment formée, a conclu que le recours à une méthode analytique prescrite comme seul moyen de définir les fibres alimentaires à des fins réglementaires n'était pas satisfaisant, car les méthodes analytiques ne tiennent pas compte de l'impact physiologique

des nouveaux aliments. Formes ou ingrédients alimentaires qui font partie du régime alimentaire (ANZFA, 2000). Ainsi, une définition a été proposée qui comprend l'origine, la chimie et la physiologie des fibres alimentaires, semblable aux directives du Codex Alimentarius sur l'étiquetage nutritionnel (FAO / OMS, 1995) et à la définition antérieure de la réglementation alimentaire de la Nouvelle-Zélande (nouvelle Zélande, 1984). En outre, l'ANZFA a approuvé l'utilisation de la méthode AOAC 985.29 ou 991.43 et des méthodes AOAC 997.08 ou 999.03, qui mesurent les fructanes (par exemple, l'inuline), (SEYER, 2005).

III.2 Définition des fibres alimentaires :

Le Codex alimentarius est un document commun réalisé par l'association de la FAO et de l'OMS et l'AACC relatifs aux normes alimentaires. La commission du Codex alimentarius (CAC) en (2009) prend en compte les propositions et les recommandations au niveau international, et définit les FA comme étant des polymères de glucides (polysaccharide) avec dix ou plus unités monomériques et qui ne sont pas hydrolysés par des hormones endogènes dans l'intestin grêle humain et qui appartiennent aux catégories suivantes :

- Les polymères glucidiques comestibles, présents naturellement dans l'aliment tel qu'il est consommé.
- Les polymères qui ont été obtenus à partir de matières alimentaires brutes, par des moyens physiques, enzymatiques ou chimiques ayant un effet physiologique qui ont un impact positif sur la santé (démonstré par les autorités compétentes en fonction des critères scientifiques généralement acceptés).
- Les polymères glucidiques synthétiques ayant un effet physiologique qui a un impact positif sur la santé (démonstré par les autorités compétentes en fonction des critères scientifiques généralement acceptés) (Lattimer et Haub, 2010 ; Jones, 2014).

Cette définition a été reprise par l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire, ex-Afssa) et complétée par une liste de propriétés physiologiques auxquelles doivent répondre les FA : augmentation de la production des selles, stimulation de la fermentation colique, diminution de la cholestérolémie à jeun, diminution de la glycémie et/ou de l'insulinémie postprandiales (AFSSA, 2002).

III.3 Sources et ingestion des fibres alimentaires :

Dans l'alimentation, les fibres sont en fait des mélanges de molécules d'origine végétale, qui sont soit des constituants de la paroi des cellules végétales (cellulose, hémicelluloses, pectines, lignine), soit des constituants de réserve (gommes, alginates, inuline). Une fraction non digérée de l'amidon, dit amidon résistant, est maintenant incluse dans ce groupe. Les principales sources de fibres sont les céréales complètes et les légumes secs, et à un degré moindre, les fruits et légumes. Plus récemment, des oligosaccharides indigestibles ont été isolés (inuline) ou élaborés comme les fructo-oligosaccharides (FOS). Les fibres alimentaires constituent un groupe très hétérogène. Les fibres alimentaires sont des polysaccharides, à l'exception de la lignine. Ce sont des molécules complexes et de grande taille qui sont des polymères organisés en chaînes linéaires ou ramifiées. Leur structure chimique détermine leurs propriétés physico-chimiques et leurs effets physiologiques. Ainsi, des gommes faites de molécules de très grande taille peuvent être coupées en molécules plus petites qui donneront des solutions moins visqueuses ou bien des fibres insolubles peuvent être rendues partiellement solubles par un traitement à haute température (**Marcel B .Robert froid, Véronique C, Nathalie Delzenne ,2008**)

Selon des critères physico-chimiques, on distingue des fibres insolubles (cellulose, lignine, certaines hémicelluloses) et des fibres solubles (certaines hémicelluloses, glucanes, pectines, gommes, fibres d'algues, inuline, FOS). De ce fait, les fibres, selon leur nature soluble ou insoluble, pourront exercer des effets physiologiques et métaboliques variables. Schématiquement, les fibres solubles ont la capacité de se solubiliser dans le bol alimentaire et les contenus digestifs en donnant des solutions plus ou moins visqueuses ou des gels tandis que les fibres insolubles restent en suspension et concourent à augmenter le volume des contenus digestifs.

L'une des conséquences du bouleversement récent de nos habitudes alimentaires a ainsi été une très forte diminution de l'ingestion de fibres alimentaires. De 31 g de fibres ingérées en moyenne par jour en France en 1900, nous sommes tombés à 16- 21g dans les années 1980-1990 (**Lairon et Barry, 1993 ; Lairon et al. 2005**). Ceci est vrai pour de très nombreux pays industrialisés. Partout, la chute est particulièrement marquée pour les fibres d'origine céréalière (**Marcel B .Robert froid, Véronique C, Nathalie Delzenne ,2008**).

III.4 Structure des fibres alimentaires :

Les fibres alimentaires sont des hydrates de carbone non digestibles. Elles sont classées en deux catégories : fibres insolubles et solubles, dont les propriétés physiologiques et métaboliques diffèrent. Elles n'apportent pas d'énergie et agissent sur la vidange gastrique, le transit intestinal, l'équilibre de la microflore intestinale qui ne peut les dégrader qu'en partie.

Les fibres solubles définissent des polymères végétaux solubles dans l'eau (dans un tampon) tels que les gommes, les mucilages, la pectine, l'inuline, les galactomanannes et les hémicelluloses solubles (arabinoxylanes ou pentosanes). Les fibres insolubles sont des polymères végétaux insolubles dans l'eau (tampon). Elles sont constituées d'hémicelluloses insolubles, de cellulose, de lignine et d'amidon résistant (Seyer,2005).

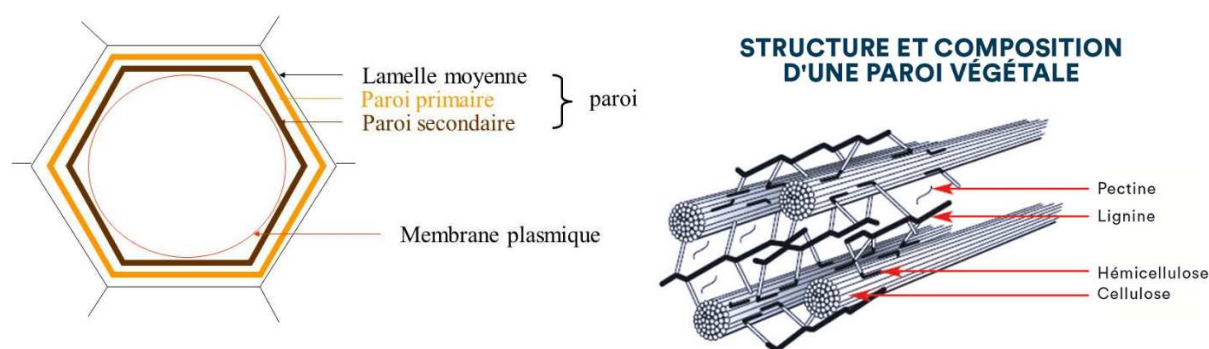


Figure 12: Localisation des différentes fibres au sein de la paroi cellulaire végétale (site web 12)

III.5 Composition chimique et propriétés des fibres :

Les fibres alimentaires sont définies comme étant des polymères d'hydrates de carbone dont le degré de polymérisation est supérieur ou égale à 3 et qui ne sont ni digérés ni absorbés dans l'intestin grêle, et qui peut être subdivisés selon deux axes : « solubilité », pour distinguer les fibres insolubles des fibres solubles et « viscosité » pour distinguer les fibres ayant un impact texturant limité de celles qui conduisent à une texturation marquée. **La Figure 13** montre le type de représentation graphique obtenue.

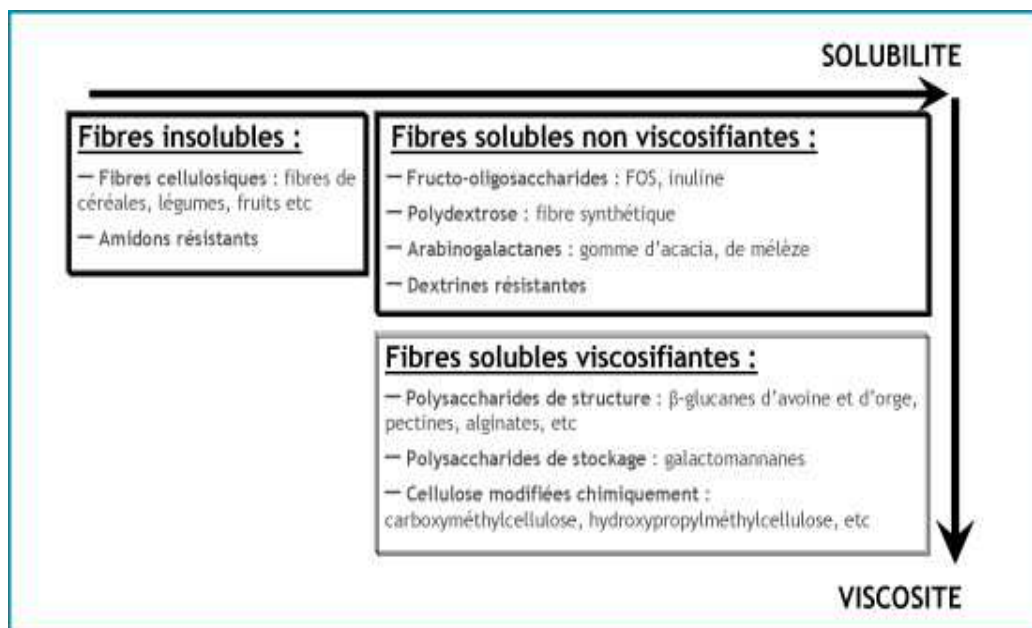


Figure 13. Typologie des fibres alimentaires sur la base de leurs propriétés fonctionnelles (Aymard, 2010).

Cette typologie repose sur des propriétés chimiques, physiques et fonctionnelles. En conséquence cette définition recouvre une large variété de « composants », allant de molécules simples et bien caractérisées à des biomatériaux complexes et structurés. Par exemple, les parois végétales sont formées de différentes macromolécules interpénétrées dans une structure tridimensionnelle complexe (Aymard, 2010). Les propriétés de ces trois groupes de fibres sont rapidement décrites ci-après :

III.5.1 Les fibres solubles :

Les fibres solubles se trouvent au cœur des végétaux comme les légumineuses (lentilles, pois chiches, haricots blancs, rouges ou noirs, etc.), l'avoine, les pommes de terre, l'orge, le seigle, les carottes, les pommes, les fraises, les agrumes ou encore les algues. Parmi celles-ci, nous distinguons les fibres solubles dites prébiotiques (inuline, oligofructose) qui stimulent la croissance des bactéries intestinales favorables à la santé (bactéries bifidus). Nous les trouvons dans les artichauts, les topinambours, les poireaux, la chicorée, les oignons ou encore dans l'ail. Elles forment une sorte de gel pendant la digestion (web master 14). Elles ont la propriété d'augmenter la viscosité du milieu où elles se trouvent pour former des solutions épaissies, voire des gels. Par ailleurs, la plupart d'entre elles est dégradée par les enzymes bactériens dans le gros intestin (Kathleen, 1996 ; Cabrol, 2006).



Figure 14 : Aliments à base végétal riches en fibres alimentaires (**web master 13**)

➤ **Les fibres solubles contribuent à :**

- ✚ Réduire le taux de cholestérol sanguin. Il est recommandé de consommer au moins 10 g de fibres solubles par jour afin de diminuer les risques de maladies cardiovasculaires.
- ✚ Régulariser la glycémie (taux de sucre). Ceci est utile autant en cas de diabète, de risque de diabète ou d'hypoglycémie. En abaissant l'index glycémique des glucides, elles contribuent à éviter les pics d'insuline après le repas, particulièrement néfastes à court et à long terme.
- ✚ Augmenter la sensation de satiété pour contribuer à régulariser le poids.
- ✚ Combattre la diarrhée et les selles défectueuses.
- ✚ Atténuer les symptômes du côlon irritable.
- ✚ Rendre le colon plus sain en augmentant le nombre de bactéries saines (microbiote).
- ✚ Réduire le risque d'ulcères intestinaux.
- ✚ Favoriser l'équilibre de la flore intestinale. Elles sont préconisées dans la prévention des risques de cancers digestifs et en particulier du cancer colorectal (**Durrer D ; .2016 web master 14**).

III.5.2 Fibres solubles non viscosifiantes :

Une fois totalement hydratées, les fibres solubles qui ne génèrent qu'une augmentation limitée de viscosité sont classiquement appelées « fibres solubles non viscosifiantes ». Cette catégorie recouvre deux classes distinctes de molécules :

- ✚ Les fibres dites « à chaîne courte », avec un degré de polymérisation moyen de 3 à 30 en général, telles que les fructooligosaccharides (FOS et inulines), dextrines

résistantes et polydextrose. La structure de ces fibres est soit linéaire (fructooligosaccharides) soit fortement ramifiée (polydextrose, dextrines résistantes)

- Les fibres de masse molaire élevée, avec un degré moyen de polymérisation dépassant le millier de monomères, mais qui possèdent une conformation très ramifiée et compacte, telle que la gomme acacia ou de mélèze. De fait, ces polysaccharides occupent un faible volume hydrodynamique en solution, d'où leur impact limité sur la viscosité (Aymard, 2010).

III.5.3 Fibres solubles viscosifiantes :

Les fibres dont l'incorporation à faible dose peut augmenter la viscosité de l'eau de plusieurs ordres de grandeur sont dites « fibres solubles viscosifiantes ». Ce sont des polysaccharides ayant à la fois une masse molaire élevée (jusqu'à 3000 kg/mol) et une conformation étendue en solution (Aymard, 2010).

Les fibres solubles regroupent les pectines, certaines hémicelluloses, la gomme de guar ou le son d'avoine (β -glucanes). Ces composés sont ainsi exploités comme additif alimentaire pour leurs propriétés émulsifiantes ou épaississantes.

a) Les hémicelluloses solubles :

Ce sont des polymères de 50-200 unités, linéaires ou branchées, mixtes d'oses neutres (xylose, arabinose, mannose, galactose, glucose) et d'acides neutres (acide glucuronique, acide 4-O-méthylglucuronique), avec des chaînes linéaires de xylose, glucose ou mannose, liés en β -(1-4) comme squelette de base (Seyer, 2005).

Selon leur structure et leur composition en unités osidiques constitutives, on a les:

- Homo-polysaccharides : leur chaîne principale est constituée par un seul type d'ose ; β glucane (glucose), xylane (xylose), mannane (mannose) (Mirande, 2009).
- Hétéro-polysaccharides : la chaîne principale est constituée par plusieurs types d'oses, arabinogalactanes (galactose et arabinose) xyloglucanes, arabinoxylanes, glucomannanes, glucuronoxylanes, glucuronoarabinoxylanes (Mirande, 2009).

Les hémicelluloses, sont insolubles dans l'eau (chaude ou froide) et les acides dilués chauds, mais solubles dans les bases diluées. Par ailleurs, il faut noter qu'il existe les hémicelluloses solubles (arabinogalactane) ou insolubles comme les xyloglucanes et certains xylanes) (Joseleau, 1980; Cho et al. 1997 ; Mirande, 2009).

Les principales catégories d'après McDougall et al. (1996) sont les xylanes, les mannanes et les xyloglucanes.

b) Les arabinoxylanes :

Il s'agit de polymères de xylose et d'arabinose, tous regroupés sous l'appellation «pentosanes ». Il est généralement constitué de 1500-5000 résidus d' α -L-arabinofuranose et de D-xylopyranose se sont des polysaccharides des parois primaires de l'albumen amylicé du blé. Il existe des arabinoxylanes insolubles en milieu aqueux avec aucune différence structurale majeure n'existe entre les arabinoxylanes solubles et insolubles. Environ 25 % des arabinoxylanes seraient hydrosolubles et induiraient des viscosités élevées (Seyer, 2005).

c) Les pectines :

Les pectines sont des macromolécules de nature glucidique, d'origine exclusivement végétale. Elles sont les principaux constituants de la lamelle moyenne des parois des cellules et sont essentiellement composées d'acides D Galacturoniques méthylés ou pas, et de rhamnose. Les chaînes latérales sont constituées d'autres oses comme l'arabinose ou le galactose. Elles forment alors un véritable ciment biologique (ciment pectique) qui rattache les cellules les unes aux autres. On retrouve également des pectines dans la matrice des parois primaires et en plus faible quantité dans les parois secondaires des cellules.

Les pectines sont abondantes dans les fruits tels que la pomme et le citron où leur nature évolue avec l'âge des tissus : d'abord insolubles elles assurent la rigidité des tissus, elles sont ensuite dégradées en sucres et en acides par voie enzymatique au cours du mûrissement. Au niveau industriel, elles sont utilisées comme additifs dans l'industrie textile et agro-alimentaire pour leurs propriétés stabilisantes, épaississantes et gélifiantes (ex : les confitures).

La variabilité structurale des pectines en fait l'un des polysaccharides pariétaux les plus complexes. On peut les diviser en deux sous catégories : les substances pectiques acides (homogalacturonane, rhamnogalacturonane I et II) et les substances pectiques neutres (arabinanes, galactanes, arabinogalactanes) associées de manière covalente au sein de la macromolécule pectique (DELATTRE, 2005).

d) Les gommes de réserve :

Sont également considérées comme des fibres. Il s'agit de la gomme arabique, sécrétée par l'acacia, et constituée de galactomannanes ou de la gomme de guar produite par les

haricots guar constituée d'arabinose, de galactose, d'acide glucuronique et de rhamnose. Les mucilages produits dans les vésicules de Golgi de végétaux tels le lin, le plantain ou le psyllium (ouispaghule, plante d'origine indienne ou méditerranéenne) sont des polymères de Dxylose, glucose, acide glucuronique et/ou galactose (**Boclé et al., 2005**).

e) Le β -glucane :

C'est un polysaccharide linéaire de monomères de glucose avec des liaisons β (1 $\rightarrow$ 4) et β (1 $\rightarrow$ 3) et trouvé dans l'endosperme des grains de céréales, principalement l'orge et l'avoine. Les concentrations de β -glucanes dans les cultivars nord-américains d'avoine vont de 3,9% à 6,8%. Le β -glucane est soluble dans l'eau et très visqueux à de faibles concentrations.

Les avantages physiologiques du β -glucane semblent résulter de leur effet sur le métabolisme lipidique et le métabolisme postprandial du glucose. De nombreuses études conviennent qu'une relation inverse existe entre les niveaux de consommation de β -glucane et le taux de cholestérol. Plusieurs études récentes, chez les sujets hypercholestérolémiques, ont révélé que la consommation quotidienne de 5 g de β -glucane a diminué de manière significative le taux de cholestérol total et LDL. Davidson et al. Ont constaté que seule une consommation journalière de 3,6 g de β -glucane était nécessaire pour produire les mêmes effets significatifs (**Lattimer et Haub, 2010**).

III.5.4 Les fibres insolubles :

Le terme « insoluble » fait implicitement référence à leur comportement dans l'eau (dans un tampon). Ils ne forment pas de gels en raison de leur insolubilité dans l'eau et la fermentation est sévèrement limitée. La catégorie des fibres insolubles regroupe globalement les amidons résistants (ainsi nommés du fait de leur indigestibilité dans l'intestin grêle), ils entrant dans la composition des parois végétales (**Aymard, 2010 ; Lattimer et Haub, 2010**).

Les fibres insolubles se trouvent dans les céréales complètes (le son de blé, le seigle), le riz complet, les feuilles (chou, etc.), les racines (betteraves, etc.), les fruits et les légumes, les féculents (peau des pommes de terre, etc.), les oléagineux (noix, amandes, etc.) ou encore le cacao en poudre brut. Elles parcourent le tube digestif de manière inchangée, stimulant le parcours de la nourriture (transit intestinal). Ce sont la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Elles ne sont que très partiellement dégradées par la flore intestinale et la plupart sont éliminées par les selles (**Durrer D, .2016**).

a) Amidon résistant :

Il existe également une fraction de l'amidon qui n'est pas digérée par les amylases salivaire et pancréatique : il s'agit de l'amidon résistant (AR). On compte trois catégories d'AR:

- 1) les amidons encapsulés ou physiquement inaccessibles retrouvés notamment dans les légumes secs.
- 2) les amidons (dits « natifs ») de certains aliments consommés crus tels que la banane, dont la teneur en AR est inversement proportionnelle au degré de maturité du fruit.
- 3) Les amidons rétrogradés des aliments cuits puis conservés sans déshydratation préalable **(Boclé et al., 2005).**

L'amidon est une source énergétique indispensable à l'alimentation de l'homme et de nombre d'animaux, il est constitué de deux polymères : l'amylose avec une structure linéaire et l'amylopectine qui possède une structure ramifiée. La composition de l'amidon varie selon l'origine botanique **(Bruneton, 2009).**

b) Lignine :

La lignine est le polymère le plus abondant sur Terre après la cellulose. La lignine constitue de 20 à 35 % de la biomasse végétale **(Boerjan et al., 2003).**

Par ailleurs, la lignine, essentiellement retrouvée dans la partie dure des végétaux (enveloppe des grains de raisin, graines de fraises et de kiwi, sons, téguments des légumineuses), C'est un polymère amorphe tridimensionnel dérivé du couplage de 3 monomères d'alcools phénylpropyliques : les alcools coniférylique, sinapylique et p-coumarylique (dérivant respectivement des acides férulique, sinapique et p-coumarique) **(Collin & Crouzet, 2011; Kärkäs et al. 2016)**

La lignine est un hétéropolymère complexe totalement insoluble constitué d'un dérivé du propane et d'alcools. Elle est souvent assimilée à une fibre en raison de ses interactions avec les polymères non amylacés des parois végétales **(Boclé et al, 2005).**

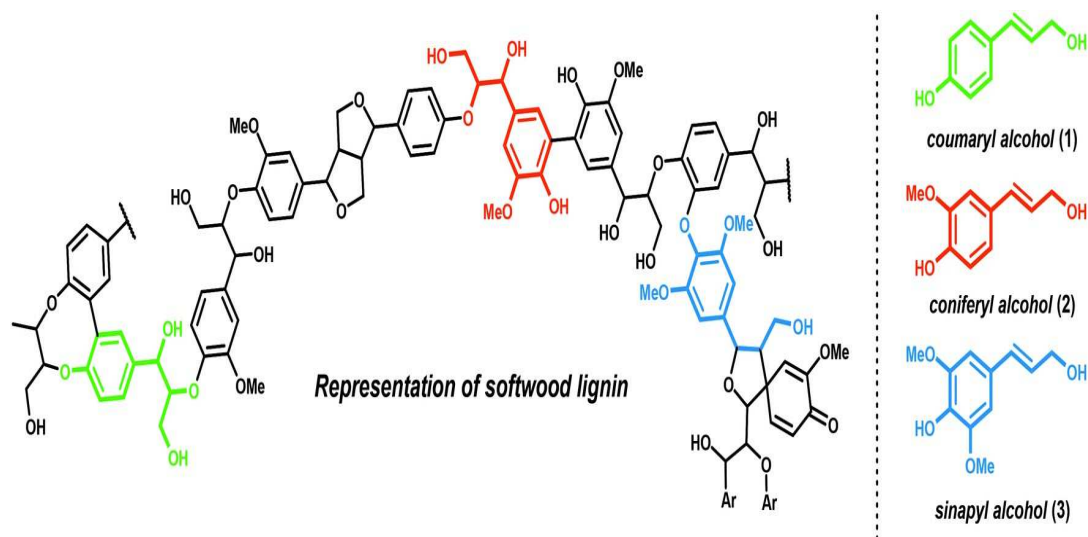


Figure 15 : Principales unités impliquées dans la structure de la lignine (**Kärkäs et al., 2016**)

c) Cellulose :

La cellulose est le matériau le plus abondant de la biosphère. Cela représente environ la moitié de la masse de bois. Il s'agit d'un homopolymère de β -D-glucopyranose synthétisé à la membrane plasmique par la complexe cellulose synthase. Chaque complexe crée de nombreuses chaînes de cellulose qui forment l'unité basique de la cellulose connue sous le nom de microfibrilles qui sont extrudées dans la paroi cellulaire où elles offrent un soutien structurel essentiel à la croissance des plantes. Sur le plan commercial, elle est devenue la matière première la plus importante après les combustibles fossiles.

La cellulose est largement manipulée pour la production de produits tels que le papier, le textile, les biocarburants et même les aliments (**Gupta et Turne, 2017**).

➤ Structure de la cellulose :

La cellulose est un homopolymère de liaison β -D-glucopyranose, liée par les liaisons glycosidiques β (1-4). Il a un caractère linéaire, non ramifié, structure paracrystalline et se trouve comme une microfibrille faite de beaucoup de chaînes individuelles. Selon la source, les microfibrilles cellulosiques varient en diamètre, en longueur et en complexité. Les unités de glucopyranose peuvent polymériser pour former des chaînes individuelles. Bien que le glucose, le précurseur monomère de la cellulose, soit soluble, la cellulose est fibreuse, dure et insoluble dans l'eau.

Les molécules de D-glucopyranose sont sous forme chaise, les unités de glucose alternatives dans le polymère de cellulose sont tournées 180° l'une à l'autre pour former une unité récurrente, la cellobiose. Dans la cellulose, ces unités se joignent pour former des chaînes qui prennent la structure rubanée consolidée par des liaisons hydrogène intramoléculaires. Le ruban plat expose les groupes CH en position axiale (sur les côtés plats du ruban) et les groupes OH en position équatoriale (sur les bords du ruban) (**Gupta et Turne, 2017**).

La cellulose est une substance noble, insoluble dans l'eau, qui se trouve dans les parois cellulaires protectrices des plantes, en particulier dans les tiges, les troncs et toutes les parties boisées des tissus végétaux. Avant d'essayer d'étudier l'ultrastructure de cette macromolécule, il est prudent pour comprendre sa structure moléculaire. Le degré de polymérisation varie de 300 à 15 000 selon l'origine botanique (**Bruneton, 2009**).

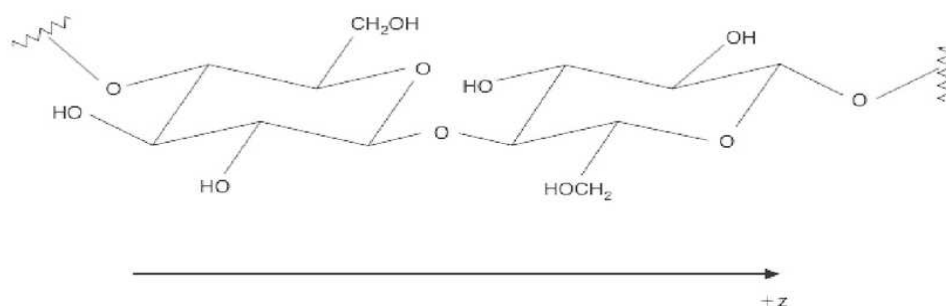


Figure 16. Fragment (unité répétitive) d'une chaîne de cellulose (**O'Sullivan, 1997**).

➤ Les dérivés de la cellulose :

La cellulose, polymère polyhydroxylé, peut être facilement estérifiée et étherifiée. L'estérification conduit à des produits (nitrate, acéate de cellulose) aux usages multiples (fabrication de plastifiants, film, et de membrane de dialyse). L'étherification conduit à des polymères hydrosolubles aux applications technologiques nombreuses. Les dérivés sont des esters de cellulose et des éthers de cellulose comme : la carboxyméthylcellulose (CMC), l'hydroxypropylcellulose (HPC), la méthylcellulose (MC). Pour tous ces dérivés, l'hydrosolubilité dépend du degré de substitution des hydroxyles du polymère natif ; le dérivé de cellulose devient soluble dans l'eau contrairement à la cellulose (**Bruneton, 2009 ; Lattimer et Haub, 2010 ; Tapio et al., 2011**).

➤ Effet de la cellulose :

Peu de recherches ont été menées sur l'évaluation des effets de la cellulose chez l'homme. Par conséquent, les études sur d'autres modèles tels que le rat seront discutées. La traduction à la pertinence humaine est mal comprise et discutable. Les pilules de cellulose ont été mises à disposition pour la consommation humaine avec la théorie selon laquelle la cellulose peut diminuer l'apport calorique d'une personne. Bien qu'aucune étude sur l'homme n'ait été trouvée pour étayer cela, plusieurs études sur des animaux utilisant des chats, des chiens et des rats ont montré que l'augmentation de la cellulose alimentaire peut réduire l'apport énergétique quotidien. C'est probablement un facteur de dilution car la cellulose est pratiquement non digérée dans l'intestin grêle et seulement 51% métabolisé par la microflore du côlon (**Lattimer et Haub, 2010**).

➤ **Effet de la cellulose sur le métabolisme des lipides**

Il est également signalé que la cellulose modifiée affectait le métabolisme lipidique. Maki et al. ont tous deux observé une réduction significative du cholestérol total et LDL chez les adultes hypercholestérolémiques consommant 5 g/ j de HV-HPMC pendant quatre semaines. Il est intéressant de noter que, chez les sujets qui reçoivent déjà des médicaments par statine, HV-HPMC a été en mesure de réduire davantage le cholestérol total et LDL. Selon cela, les celluloses modifiées peuvent être plus bénéfiques que la cellulose naturelle. Ces celluloses modifiées, comme décrit ci-dessus, agissent comme des fibres solubles, ajoutant ainsi à la viscosité du tractus GI. Par conséquent, on suppose que la viscosité intestinale accrue retarde l'absorption des nutriments et augmente l'excrétion d'acide biliaire (**Lattimer et Haub, 2010**).

Donc l'ingestion des fibres insolubles, comme les céréales, les pois et les pommes de terre, ont peu ou pas d'effet sur le cholestérol sérique. Le traitement de première intention pour l'hypercholestérolémie est la thérapie alimentaire : diminution de la consommation de graisse totale et, le cas échéant, calories totales et augmentation de l'apport De fibres solubles.

III.6 Les bienfaits des fibres alimentaires :

La modification des habitudes alimentaires et le raffinage poussé des aliments ont contribué à diminuer la consommation de fibres alimentaires. on estime qu'elle est passée de plus de 30 grammes par jour au début du XX^e siècle à 15-20 g par jour actuellement , Initialement , le terme « fibre alimentaire » désignait les glucides des parois végétales tels que la cellulose , les hémicelluloses ou la pectine , non digestibles dans l'intestin grêle , mais

susceptible d'être dégradés par la flore microbienne du gros intestin, la notion actuelle de fibres alimentaires ne se limite pas aux glucides des parois végétales, elle regroupe l'ensemble des composés non digérés dans l'intestin grêle, par exemple, les sucres-alcools des fruits, les oligosaccharides de réserve (l'inuline de l'oignon, de l'artichaut, de la patate douce, du topinambour) les gommes végétales, les extraits d'algues, et même la fraction de l'amidon qui résiste à l'action de l'amylase pancréatique.

Tous les produits végétaux sont riches en parois cellulaires et donc contiennent des fibres. Cependant, leurs teneurs peuvent varier fortement en fonction de leur origine végétale. 20 à 30 % de la matière sèche des légumes frais ou secs est constituée de fibres alimentaires, selon le même mode d'expression, la teneur des céréales et des fruits se situe entre 10 à 15 % et celle des pommes de terre riches en amidon est voisine de 9 %. Dans les céréales raffinées, le taux de fibres chute aux environs de 3 %. On trouve des fibres ou des glucides apparentés dans beaucoup d'autres produits végétaux (fruits secs, graines, jus de fruits naturels), dans le miel, mais aussi maintenant dans un très grand nombre de produits, même d'origine animale, parce que les fabricants d'aliments les utilisent pour alléger les produits, assurer une structure ou pour bénéficier d'une allégation santé. Il est probable que l'efficacité de ces fibres additionnées artificiellement aux aliments demeure toutefois modeste par rapport aux produits végétaux qui bénéficient d'une grande diversité de glucides complexes auxquels sont associés de nombreux micronutriments.

Longtemps on a considéré que l'effet santé des fibres se limitait à leurs effets digestifs, à leur rôle indispensable pour régulariser le transit intestinal. Globalement, les fibres sont indispensables au bon fonctionnement du système digestif pris dans son ensemble et agissent sur toutes ses composantes. Elles exercent par exemple, des effets trophiques directs au niveau de l'intestin grêle. Ainsi un régime riche en fibres augmente la surface d'échange intestinale pour palier la difficulté d'absorption des nutriments. L'impact des fibres sur la muqueuse du gros intestin est également considérable par le biais des produits de fermentations qui vont contrôler le métabolisme des cellules du côlon. Les fibres jouent aussi un rôle-clé dans le fonctionnement intestinal en entretenant une flore symbiotique en équilibre avec notre organisme. L'extrême diversité et richesse de cette microflore influencent par ailleurs la qualité de nos réponses immunitaires intestinales et bien d'autres processus physiologiques comme p.ex la production des peptides gastro-

intestinaux à action hormonale. Dans le contexte alimentaire actuel, la fréquence des troubles digestifs, des hypersensibilités et des intolérances alimentaires est très élevée. Ces problèmes digestifs induisent souvent des comportements d'exclusion vis-à-vis de nombreux produits végétaux, achevant ainsi de fragiliser l'écosystème intestinal (**Marcel B .Robert froid, Véronique C, Nathalie Delzenne ,2008**).

III.7 Effets biologiques des fibres alimentaires :

La composition des fibres étant variables, elles n'ont pas toutes la même valeur biologique et il est très difficile d'établir une relation précise entre la composition des fibres et les propriétés biologiques qui leur sont attribuées. Les effets positifs sur la santé des FA sont liés en partie à la fermentation qu'elles subissent dans le gros intestin, fermentation qui exerce un effet favorable sur le transit intestinal (la durée du transit qui est normalisée aux alentours de 48 h), et le pH du côlon, l'augmentation de la population bactérienne participe également à l'accroissement du volume des fèces. Cette fermentation donne naissance à des sous-produits auxquels sont associées des propriétés physiologiques bénéfiques (**Bruneton, 2009 ; Soualem et al., 2015**).

III.7.1 Effet prébiotique :

Les FA non digérées par le système digestif gastro-intestinal supérieur (par hydrolyse enzymatique et/ou acide au niveau de l'estomac) se retrouvent dans l'intestin distal ou le côlon où elles sont fermentées par les micro-organismes de la flore intestinale. Cette fermentation conduit à la production de métabolites secondaires que sont les acides gras volatils (AGV) ou acides gras à chaîne courte (AGCC). Principalement, il s'agit de l'acide butyrique retrouvé sous forme de butyrate après estérification avec un alcool (**Bureau, 2016**).

Donc il est distingué trois groupes d'effets pour les FA : l'action sur le transit intestinal, celle, suspectée, sur la fréquence des cancers colorectaux et les actions métaboliques, sur la cholestérolémie et la glycémie (**Bruneton, 2009**).

Chapitre IV

Les prébiotiques et l'inuline

IV.1. Introduction :

Parmi les ingrédients susceptibles d'entrer dans la composition des aliments fonctionnels, les prébiotiques occupent une place de choix car ils combinent des bénéfices nutritionnels et des propriétés technologiques intéressantes. Certains prébiotiques (et symbiotique) sont déjà largement utilisés comme ingrédients fonctionnels et ont permis de lancer avec succès de nouveaux produits et concepts sur le marché de l'alimentation fonctionnels (**coussement, 1996**).

IV.2. Historique et définition :

Le concept de prébiotiques, apparu au Japon dans les années 80, est lié au développement des aliments fonctionnels depuis les années 1990 (**Rousseau, 2004**).

Il est formalisé par Gibson et Roberfroid en 1995, Il correspond à l'impact de certains constituants de l'alimentation (principalement des oligosaccharides, ou polysaccharides) qui échappent à la digestion dans la partie haute de l'intestin, mais peuvent être fermentés sélectivement par certaines bactéries, cet effet associe à une amélioration de certaines fonctions physiologiques de l'hôte.

Les prébiotiques, à la différence des probiotiques, ne sont pas des microorganismes mais des substances fermentescibles autrement dit des substances résistantes aux différentes étapes de la digestion (**Laffarague, 2015**). Il s'agit « d'ingrédients alimentaires qui influencent de façon bénéfique l'hôte en stimulant sélectivement la croissance et/ou l'activité d'un ou d'un nombre limité de groupes bactériens dans le colon, et qui améliorent ainsi la santé de l'hôte » (**Favre, 2004**).

Les prébiotiques sont utilisés comme carburant ou source d'alimentation pour les « bonnes » bactéries du microbiote intestinal ou les probiotiques qui peuvent y être associés, afin de favoriser leur multiplication et obtenir un effet bénéfique sur l'organisme (**chos D, .2016**). Les fibres utilisées sont principalement des fructanes, bien que d'autres molécules puissent également être proposées comme prébiotiques (**Roberfroid M, .2007**). Les prébiotiques les plus fréquemment utilisés sont (**World Gastroenterology Organisation, 2011**) :

✓ L'inuline : mélange d'oligosaccharides et polysaccharides, essentiellement composés de fructose.

✓ GOS (Galacto-Oligo-Saccharides).

✓ FOS (Fructo-Oligo-Saccharides).

✓ Le lactulose : disaccharide de synthèse, utilisé comme médicament dans le traitement de la constipation.

✓ Les oligosaccharides du lait maternel.

On les retrouve pour la plupart dans l'alimentation, essentiellement dans les fruits et légumes comme les bananes, asperges, artichauts, topinambours, oignons, salsifis cuits, poireaux, ail, endives, panais, blé (complet), seigle, avoine (**chos, .2016**).

Ils peuvent être utilisés comme ingrédients alimentaires, notamment dans les biscuits, le chocolat, les céréales, la pâte à tartiner (**World Gastroenterology Organisation, 2011**). Par exemple, l'oligofructose est naturellement présent dans divers aliments comme le blé, l'oignon, la banane, le miel, l'ail et le poireau. Il est possible de l'isoler à partir de la racine de la chicorée ou de le synthétiser à partir du sucrose (**World Gastroenterology Organisation, 2011**). Ces prébiotiques sont retrouvés également dans bon nombre de compléments alimentaires (**chos, .2016**) : On prend l'exemple des préparations d'endives dont le prébiotique est extrait "inuline" ou des préparations à base de lait dont les "galacto-oligosaccharides" sont isolés (**Enders G, .2017**).

Pour remplir ce rôle, le prébiotique obéit à trois critères (**Wang, 2009**) :

- ❖ Il ne doit être ni hydrolysé, ni absorbé dans la partie supérieure du tractus gastro-intestinal, de façon à pouvoir alimenter la microflore colique ;
- ❖ Il doit altérer positivement la composition ainsi que les activités de la microflore gastro-intestinale, il doit être sélectivement fermenté par une ou un nombre limité de bactéries potentiellement bénéfiques dans le côlon ;
- ❖ Il doit préférentiellement induire des effets bénéfiques pour la santé qui auront été démontrés chez des volontaires humains.

IV.3. Aperçu des principaux prébiotiques

IV.3.1. Nature chimique et propriétés :

Le tableau 1 donne un aperçu des principaux prébiotiques actuellement disponibles et produits industriellement. Structuellement, ils sont tous des hydrates de carbone non-digestibles, en particulier des oligosaccharides non- digestibles (OND) et des sucres non-assimilables (Delzenne et Roberfroid, 1994;Crittenden, 1999).

Ils sont obtenus soit par extraction à partir de plantes, éventuellement suivie d'une hydrolyse enzymatique, soit par synthèse enzymatique, principalement au départ de disaccharides. Les composés de type fructanes (inuline et oligofructose) et contenant du galactose (lactulose et galacto-oligosaccharides) ont été clairement identifiés comme prébiotiques car ils sont effectivement fermentés de façon sélective par les bactéries du côlon, ce qui entraîne une modification de la composition microbienne en faveur d'une flore où dominant les bifidobactéries, une espèce considérée comme bénéfique à la santé (Gibson et al., 2004). Ces oligosaccharides sont également appelés facteurs bifidogènes.

En plus de leur effet spécifique au niveau de la flore intestinale, les prébiotiques peuvent accroître l'absorption de minéraux tels que le calcium et le magnésium, moduler la physiologie intestinale par leurs propriétés de fibres alimentaires et même exercer des effets systémiques, par exemple comme modulateurs du métabolisme lipidique et du contrôle de l'appétit (Van Loo et al., 1999; Van Loo, 2005). Leurs avantages nutritionnels potentiels sont résumés dans le tableau 14.

Tableau 13 : Aperçu des principaux prébiotiques (Marcel B .Robert froid, Véronique C, Nathalie Delzenne ,2008).

Prébiotique	Production Industrielle	Structure Chimique	Lien Osidique	Degré de polymérisation	Producteurs
Inuline	Extraction aqueuse de racines de chicorée	G-F _n	B (2-1)	3-60 (moyenne ≠ 10)	Orafti (B) Cosucra (B) Sensus (NL)
Oligofructose (ou fructo-Oligosaccharides)	Hydrolyse Enzymatique de l'inuline de chicorée ou synthèse Enzymatique à partir de	G-F _n et F _n G-F _n	B (2-1) B (2-1)	2-8 (moyenne ≠ 4.5) 3.5 (moyenne ≠ 3.5)	Orafti (B) Beghin-Meiji-industries(F)

saccharose					Meiji seika (J)
Oligosaccharides trans-galactosylés (ou galacto-oligosaccharides)	Synthèse enzymatique à partir de lactose	G-Gal _n	B (1-6) B (1-4)	3.6 (moyenne ≠3)	Yakut Honsha (J) Nissin sugar(J) Snow Brand Milk (J) Friesland food (NL)
Lactulose	Isomérisation du lactose	Gal-F	B (1-4)	2	Solvay (NL) Morinaga (J)

(*) G = glucose ; Gal = galactose ; F= fructose ; n = nombre d'unités de fructose ou galactose liées

Tableau 14 : Bénéfices nutritionnels des prébiotiques (Marcel B .Robert froid, Véronique C, Nathalie Delzenne ,2008).

Evidence scientifique forte	Evidence scientifique prometteuse
- Non-digestibilité et faible valeur calorique - Réponse glycémique négligeable (convenant aux diabétiques) Régularisation de la fréquence des selles (soulagement de la constipation) et effet de charge (transit) - Modulation sélective de la flore intestinale, par une stimulation sélective de la croissance de bactéries bénéfiques (Bifidobactéries) - Amélioration de l'absorption du calcium et du magnésium	- Augmentation de la densité minérale Osseuse - Régulation de l'appétit et de la prise alimentaire - Prévention d'infections (intestinales) et de diarrhées - Amélioration des symptômes de l'inflammation intestinale chronique - Diminution des triglycérides sanguins (et hépatiques) - Diminution du risque de cancer (du colon) - Modulation de la réponse immunitaire

Les prébiotiques améliorent en outre la qualité gustative de nombreux produits alimentaires grâce à leurs propriétés technologiques intéressantes (**tableau 15**).

Tableau 15 : Propriétés technologiques des prébiotiques (Marcel B .Robert froid, Véronique C, Nathalie Delzenne ,2008).

Propriété	Oligosaccharides	Inuline
Aspect	Sirop visqueux et incolore ou poudre blanche	Poudre blanche
Goût	Légèrement sucré	Neutre sans arrière –goût
sucrant par rapport au saccharose	Synergie avec les édulcorants intenses	
Pouvoir sucrant par rapport au saccharose	25-35%	<10%
Solubilité dans l'eau (Température ambiante)	Environ 80% en poids	Environ 10% en poids
Viscosité à 30% en poids dans l'eau (10°C)	Environ 5mP.s	Environs 100mP.s
Diminution de la température de congélation, à 10% en poids	Environ -0.6°C	Environ -0.3°C
Autre	Remplacement du sucre Rétention d'humidité / humectant Activité de l'eau proche de celle du sucre	Remplacement des matières grasses Pouvoir gélifiant (à haute concentration) Synergie avec les agents gélifiants Stabilisation des mousses et des émulsions

(*) Fructo-oligosaccharides et galacto-oligosaccharides

IV.3.2. Différents types des prébiotiques :

Il existe deux grands groupes de prébiotiques : les prébiotiques reconnus, dont certains sont commercialisés et les prébiotiques émergents.

1) Prébiotiques reconnus :

Ce groupe de prébiotiques est constitué de fructo-oligosaccharides (FOS), les galactooligosaccharides (GOS) et la lactulose. Ces prébiotiques sont aujourd'hui bien reconnus au Japon, en Europe et aux Etats Unis (**Bodinier et Goubeyre, 2012**).

a. Lactulose :

Le lactulose (4-0-B-D-galactopyranosyl-D-fructose) est un disaccharide synthétique dérivé du lactose par isomérisation (**Montgomery et Hudson, 1929**). Produit notamment par Solvay (Pays-Bas) et par Morinaga (Japon), il est essentiellement utilisé comme produit pharmaceutique, en particulier comme laxatif pour le traitement de la constipation chronique, ainsi que dans le cas d'encéphalopathie hépatique. N'étant pas autorisé dans les produits alimentaires, et bien que présentant des propriétés prébiotiques, il n'a pas sa place dans l'alimentation fonctionnelle.

➤ Aspects physiologiques

La lactulose n'est pas digérée dans l'intestin grêle de l'homme mais il est fermenté rapidement par la microflore du côlon (**Crittenden, 1999**). C'est pourquoi sa teneur en calories est faible. Une étude humaine, dans laquelle la lactulose était administrée à la dose de 20 g/jour pendant 4 semaines, a montré un accroissement significatif du nombre de bifidobactéries et de lactobacilles, alors que les populations de clostridies et de coliformes étaient diminuées (**Ballongue et al., 1997**). La production accrue d'acides gras à courte chaîne, principalement de l'acétate et du lactate, a résulté en une diminution du pH fécal, tandis que les concentrations de propionate et de butyrate étaient réduites. Dans la même étude, la lactulose a permis de réduire l'activité d'enzymes génotoxiques dans les matières fécales des volontaires.

L'effet de la lactulose sur l'acidité colique est probablement aussi à l'origine de son impact positif sur l'absorption du calcium et du magnésium chez le rat (**Brommage et al., 1993 ; Heijnen et al., 1993**). Une première étude humaine a également montré une augmentation de l'absorption du calcium suite à l'administration de lactulose à des femmes ménopausées (**Van den Heuvel et al., 1999b**).

Son application dans le traitement de l'encéphalopathie hépatique se base sur sa capacité à réduire la quantité d'ammoniaque absorbée dans les intestins (**Mizota, 1996**). La lactulose a

également permis de réduire l'incidence de translocation bactérienne chez des rats souffrant d'infections intestinales (**Özaslan et al., 1997**) et de diminuer le nombre de foyers de cryptes aberrantes (lésions pré-néoplastiques) dans le côlon de rats lorsqu'il a été ingéré en combinaison avec des bifidobactéries (*Bifidobacterium longum*), confirmant à nouveau la validité du concept symbiotique (**Challa et al., 1997**). D'autre part, la lactulose administrée à des patients qui avaient subi l'ablation d'adénomes coliques a réduit la récurrence des adénomes après une année (**Ponz de Leon et Roncucci, 1997**). En raison de son action osmotique, qui peut entraîner un transfert d'eau dans le gros intestin, et en raison de sa fermentation rapide et de la production importante de gaz, la lactulose administrée à fortes doses peut provoquer un malaise intestinal (flatulence et ballonnement) ou même la diarrhée (**Crittenden, 1999**).

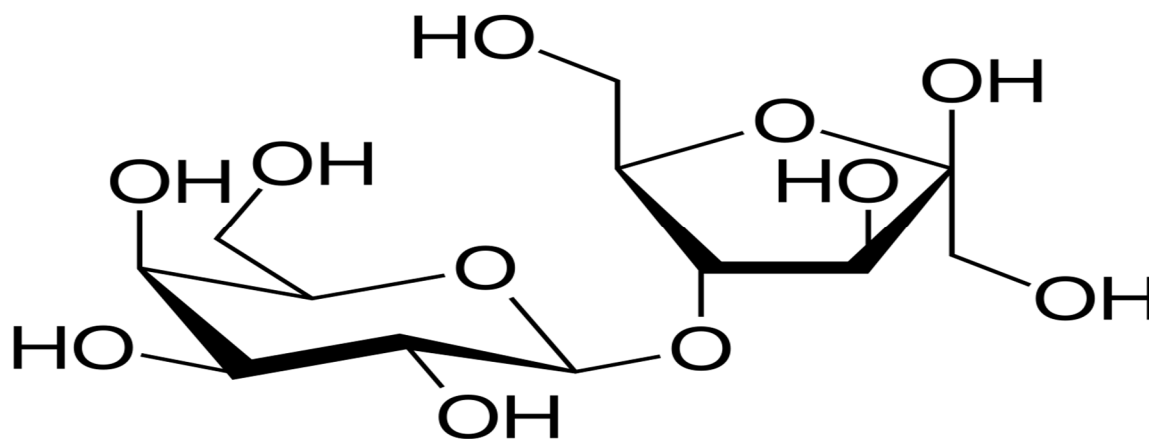


Figure 17. Structure du lactulose (**Frank et al, 2007**).

b. Fructo-oligosaccharides (FOS) :

Les FOS sont des oligomères de D-fructose associés par des liaisons α -(1→2) avec un résidu D-glucose en bout de chaîne lié en β -(1→2) (**Figure18**). Ils sont obtenus par réaction d'hydrolyse enzymatique de l'inuline (**Costa et al., 2012; Nobre et al., 2012**).

Ce sont des polymères de fructose dont le degré de polymérisation varie de 3 à 9. Les fructo-oligosaccharides sont indigestibles et atteignent le colon où ils sont métabolisés par la flore microbienne en acide lactique et en acides gras à courte chaîne. Ils stimulent la croissance des Bifidobactéries et inhibent celle de *Clostridium perfringens* (**Won Yun, 1996; Tambara et al., 1999**).

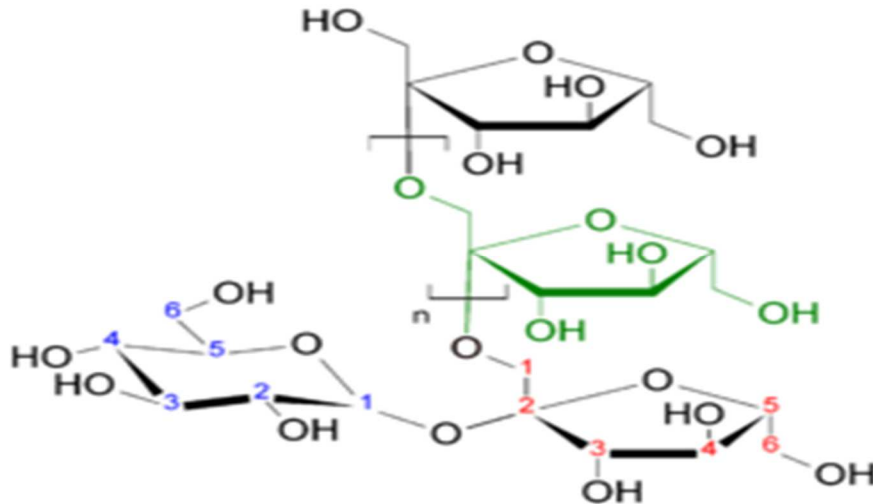


Figure 18.Fructo-oligosaccharides (FOS) (Martin, 2009).

c. Inuline :

C'est un ensemble de polymère de β -fructose, avec des liaisons de type β (2 1), il appartient à la famille des fructo-oligosaccharides (**Figure19**). Il s'agit d'un glucide non hydrolysé et non absorbé dans l'intestin grêle, mais qui est dégradable par la flore colique (**Mosera et al., 2014**). Elle se trouve naturellement dans de nombreux aliments tels que le blé, les oignons, les bananes, le miel, l'ail et les poireaux. Il peut aussi être extraite industriellement de la chicorée ou être synthétisé par des enzymes à partir du sucrose (**WGO, 2011 ; Mosera et al., 2014**).

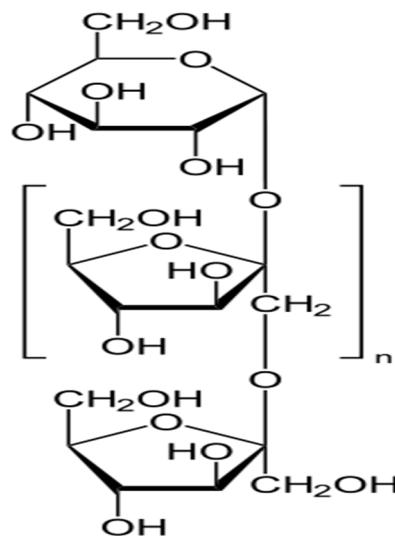


Figure19. Inuline (Martin, 2009).

d. Galacto-oligosaccharides (GOS) :

Les GOS sont des oligomères de la forme $\text{Glu } \alpha\text{-(1}\rightarrow\text{4)-}[\beta\text{-(1}\rightarrow\text{6) Gal}]_n$ avec n de 2 à 5 (**Figure 20**). Ils sont naturellement présents dans le lait mais également obtenus par synthèse enzymatique à partir du lactose (**Kolida et al., 2000**).

Une étude portée sur des rats porteurs d'une microflore humaine, a montré que les transgalacto-oligosaccharides augmentent le nombre de bifidobactéries et de lactobacilles. Mais en outre diminuent le nombre d'entérobactéries (**Braegger, 2004**). De plus, ces oligomères réduisent les activités enzymatiques néfastes. Chez l'homme plusieurs études aboutissent aux mêmes résultats (**Tanaka et al., 1983**).

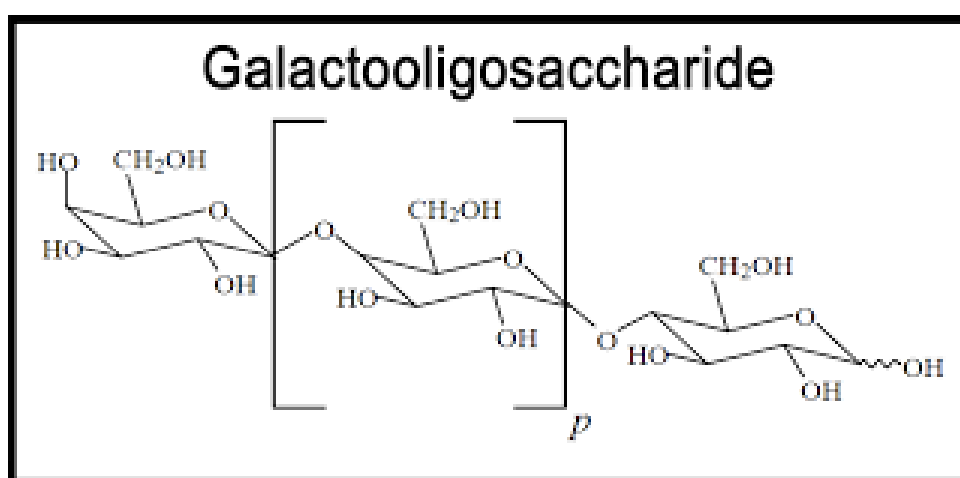


Figure 20.Galacto-oligosaccharides humains naturels du lait maternel (**web master 15**).

Le lait maternel contient de grandes quantités d'oligosaccharides contenant du galactose (environ 5 à 8 g /litre) appelés des oligosaccharides humains naturels du lait maternel (OHM), ils ont un effet bifidogène prouvé et sont clairement associés, chez le nourrisson allaité, à une protection contre les diarrhées (**Morrow et al., 2004**).

Les OHM sont d'une grande complexité, il est impossible de les produire synthétiquement et de les ajouter aux laits artificiels. Une étude clinique a permis de démontrer que la substitution de laits artificiels par un mélange de GOS et FOS ressemblant sous certains aspects (poids moléculaire) à une OHM, produit une augmentation significative et dose-dépendante des bactéries bifidus dans les selles des nourrissons (**Boehm et al., 2002 ; Moro et al., 2002 ; Schmelzle et al., 2003**).

2) Prébiotiques émergents :

Parmi les prébiotiques émergents on peut citer : les isomalto oligosaccharides (IMO), les oligosaccharides de soja (SOS) et les xylooligosaccharides (XOS). Dans une moindre mesure en termes de travaux d'expertise, les gluco-oligosaccharides et les pecti-oligosaccharides peuvent être ajoutés (**Rycroft et al., 2001**). Il a également été avancé que les amidons résistants pouvaient entrer dans cette catégorie (**Crittenden et al., 2001; Wang et al., 2002**). Plusieurs causes sont à l'origine du développement de ces nouveaux prébiotiques : tout d'abord les progrès réalisés dans les processus de production (**Gibson et al., 2000**), puis les développements des biotechnologies et de la génétique moléculaire (**Sasaki et al., 2013**), en fin la recherche de diversification des voies de valorisation de certains produits naturels, déchets de l'agriculture (**Praznik et al., 2014**).

IV.4. Prébiotique et la santé humaine :

De nombreux effets bénéfiques des prébiotiques sur la santé de l'homme ont été mis en évidence grâce à des études sur modèles animaux puis sur l'homme (**pharma, 2020**) :

- ✓ Action sur les MICI (Maladies inflammatoires chroniques de l'intestin) et sur l'inflammation de l'intestin.
- ✓ Action sur l'obésité avec une réduction de la satiété, de la masse grasse et des possibles complications liées à cette pathologie en particulier dans le métabolisme des lipides.
- ✓ Action sur le développement et la croissance des bifidobactéries : effet bifidogène, qui permet d'éviter l'implantation des bactéries pathogènes.
- ✓ Amélioration de l'absorption des minéraux tels que le Mg, Zn, Fe et Ca (par diminution du pH).
- ✓ Augmentation du transit intestinal : fortement recommandé en cas de constipation.
- ✓ Favorisation de l'élimination des pro-carcinogènes.
- ✓ Production d'acides gras à chaînes courtes : renouvellement des colonocytes.
- ✓ Action sur l'immunité de l'hôte : production d'IgA et modulation des cytokines.

IV.4.1. Les prébiotique et la maladie de crohn :

La fermentation des prébiotiques au niveau du colon se déroule en 2 étapes : la première étape consiste en l'hydrolyse du sucre en monomères par les enzymes bactériennes, puis la deuxième étape dégrade les monomères formés, par glycolyse anaérobie. On retrouve alors une production de gaz (CO₂, H₂ et CH₄), d'acides organiques (lactate) et d'acides volatils à courtes chaînes (AGCC) comme l'acétate, le propionate et le butyrate. Les quantités d'AGCC retrouvées sont fonction du prébiotique fermenté, et perdurent le temps de la consommation régulière du prébiotique mais disparaissent à l'arrêt de son utilisation. Parmi ces AGCC, le butyrate semble présenter des propriétés intéressantes de par les propriétés anti-inflammatoires qu'il exerce au niveau intestinal, propriétés qu'il doit à son action inhibitrice sur la voie NF-κB et son action régulatrice sur l'hyperperméabilité intestinale en modulant les protéines des jonctions serrées. Ainsi le butyrate exercerait une diminution de la perméabilité intestinale et le renforcement de la fonction de barrière de l'intestin en évitant le passage de certains pathogènes tels que *Campylobacter jejuni* et *E. Coli* (**Institut Européen de Diététique et Micronutrition, .2017**).

Au-delà de leur rôle modulateur de production d'AGCC, chaque prébiotique semble exercer son action propre sur le microbiote en modulant sa composition. La fermentation de l'oligofructose au niveau du colon semble exercer de nombreux effets bénéfiques comme une élévation du nombre de bifidobactéries au niveau du colon, une meilleure absorption du calcium, une augmentation de la consistance des selles accompagnée d'une accélération du temps de transit gastro-intestinal, et une possible diminution du taux des lipides sanguins (**World Gastroenterology Organisation, 2011**).

Des études avec des prébiotiques à base de dextrines (4%) ont également été réalisées chez le porc et ont montré une réduction de symptômes associés à la colite, une amélioration des scores endoscopiques et histologiques, ainsi qu'une stimulation de la production d'IL-10 (**Institut Européen de Diététique et Micronutrition, .2017**).

En revanche, nous retrouvons peu d'études chez l'homme avec ce type de prébiotiques. Le rôle du fructane a aussi été étudié, mettant en évidence une amélioration de la MC après administration de 15g de fructane par jour. Dans cette étude était retrouvé une augmentation des bifidobactéries ainsi qu'une augmentation des cytokines anti-inflammatoires comme

IL10. D'autres équipes comme celle de Casellas et al. ont montré l'efficacité de 12g de fructane par jour chez des patients atteints de colites ulcéraives (sous traitement mesalazine et régime pauvre en fibres) chez qui une diminution d'un facteur 4 de la concentration de calprotectine fécale (marqueur de l'inflammation intestinale) dès 7 jours de traitement était mise en évidence (**Institut Européen de Diététique et Micronutrition, .2017**).

Ainsi, l'ensemble de ces prébiotiques ont ainsi mis en évidence une diminution des symptômes chez les patients atteints de MC ou d'inflammation. Mais, malgré le peu d'études cliniques disponibles concernant l'usage des prébiotiques dans la MC, d'autres recherches montrent, a contrario, l'absence d'effet(s) bénéfique(s) des prébiotiques dans la MC.

En effet, le journal Clinical and Experimental Gastroenterology publie en 2014 deux essais cliniques contrôlés et randomisés (ECR) ciblant uniquement l'utilisation des prébiotiques dans la MC (**Ghouri YA, Richards DM, Rahimi EF, Krill JT, Jelinek KA, DuPont AW, .2014**) :

❖ L'étude de l'équipe Benjamin et al. En 2011 concernait 103 patients dont 54 étaient traités par des fructo-oligosaccharides (FOS) et 49 étaient traités par le placebo (**Moreau M-C, .2014**). Après 4 semaines de traitement, la réponse clinique a été mesurée à l'aide de l'Index d'activité de la maladie de Crohn (CDAI) ne montrant aucune différence significative entre les deux groupes.

❖ Un autre essai réalisé par le groupe Hafer et al. En 2007 chez des patients atteints de MC utilisait le lactulose comme prébiotique. Aucun bénéfice n'a été retrouvé dans la réponse clinique chez le malade de Crohn, en revanche une amélioration de la qualité de vie a été observée.

Ces deux études n'ont donc pas mis en évidence d'amélioration de la maladie de Crohn sous prébiotiques.

Donc le rôle des prébiotiques dans la MC reste encore flou, Il semble nécessaire de réaliser de nouvelles études, impliquant un nombre plus considérable de patients, pour conclure à une éventuelle action bénéfique des prébiotiques dans cette pathologie.

IV.5. L'innocuité et statut réglementaire :

Les prébiotiques sont des ingrédients ou des additifs alimentaires qui ne peuvent en principe pas être utilisés dans les produits alimentaires sans que leur innocuité n'ait été démontrée pour l'usage proposé. En Europe, de nouveaux composés peuvent être approuvés selon la réglementation « nouvel Food ». Dans d'autres pays, des systèmes comparables existent. Actuellement, seuls quelques composés prébiotiques ont été autorisés comme ingrédients alimentaires en Europe. L'inuline et l'oligofructose ont été tous deux classés comme ingrédients alimentaires et non comme additifs (Directive UE 95/2/CE art 1.5.i –UE standing Committee on Food, juin 1995). Ils étaient déjà employés en quantités importantes avant l'entrée en vigueur de la législation européenne sur les « novelfoods ». Plusieurs pays européens ont évalué leur innocuité et leur usage est désormais autorisé sans restriction dans les produits alimentaires en Europe et dans la plupart des autres pays. Les galacto-oligosaccharides (oligosaccharides trans-galactosylés) ont obtenu l'approbation « novelfoods » en Europe. Un tel statut n'a pas encore été obtenu pour d'autres oligosaccharides non-digestibles (dont l'usage est essentiellement limité au Japon). Comme la non-digestibilité représente la principale caractéristique des fibres alimentaires, la question se pose de savoir s'il faut ou non classer les oligosaccharides non-digestibles en tant que fibres alimentaires. Aujourd'hui, la définition même des fibres alimentaires fait toujours l'objet de discussions. L'acceptation des composés non-digestibles d'origine végétale exerçant des effets sur la fonction et la flore intestinales en tant que fibres alimentaires fait cependant l'objet d'un consensus de plus en plus large dans la communauté scientifique. Les oligosaccharides non-digestibles répondent en principe à ces critères. Actuellement néanmoins, seuls l'inuline et l'oligofructose ont obtenu les confirmations réglementaires du statut de fibres dans la plupart des pays à travers le monde (**Prosky, 1999**).

IV.6. L'inuline

IV.6.1. Généralités :

Les inulines sont des polysaccharides (sucres simples de type fructose liés entre eux) produits naturellement par de nombreux types de plantes. Elles appartiennent à une classe de fibres alimentaires appelées fructanes. L'inuline est utilisée par certaines plantes comme moyen de stockage de l'énergie que l'on retrouve généralement dans les racines ou les rhizomes. La plupart des plantes synthétisant et stockant de l'inuline n'accumulent pas d'autres matériaux énergétiques tels que l'amidon.

À la différence de l'amidon, l'inuline n'est pas digestible par les enzymes de l'intestin humain (amylases) et est considérée comme une fibre alimentaire soluble. L'inuline atteint le côlon intacte où elle est utilisée par la flore intestinale qui la métabolise, avec libération de quantités importantes de dioxyde de carbone, d'hydrogène et/ou de méthane : elle est ainsi considérée comme un prébiotique, au sens qu'elle stimule le développement des bactéries de la flore intestinale (**Gastronomiac, 2020**).

Comme la digestion ne transforme pas l'inuline en monosaccharides, cette dernière n'élève pas la glycémie et présente une utilité dans la gestion du diabète. L'inuline est utilisée dans l'industrie comme ingrédient dans différentes préparations agro-alimentaires. Le degré de polymérisation varie et conditionne la fonctionnalité. Les polymères contenant moins de dix unités de fructose, nommés fructooligosaccharides (F.O.S.), sont utilisés comme agents sucrants. Les polymères comprenant plus de dix unités de fructose n'ont pas de pouvoir sucrant mais sont utilisés pour améliorer la texture des aliments ou remplacer des matières grasses (**Gastronomiac, 2020**).

L'inuline peut être employée dans certains protocoles de recherche afin d'apprécier très précisément la fonction rénale chez l'homme ou l'animal. En effet, cette molécule est filtrée par le glomérule et n'est pas réabsorbée, permettant de calculer, après injection d'une dose déterminée, une clairance, indice du débit de filtration des glomérules. Ce test n'est pas employé en pratique courante pour des raisons de coûts, la clairance de la créatinine suffisant largement en termes de précision (**BMJ, 2006**).

L'inuline peut être employée au même titre que la DTPA (L'acide diéthylènetriamine penta acétique) et EDTA(Éthylènediaminetétraacétique) pour mesurer le volume d'eau contenu dans le secteur extracellulaire car elle est suffisamment petite pour diffuser au travers des interstices de l'endothélium capillaire (**owlaps,site web**).



Figure 21 : poudre de l'inuline (web master 16).

IV.6.2. Biochimie de l'Inuline :

L'inuline est un polysaccharide linéaire qui contient des résidus de fructose liés par des liaisons O-glycosidiques en β (2 $\rightarrow$ 1), souvent avec une molécule de glucose à l'extrémité de chacune de chaînes de fructose, attaché par une liaison α (1-2), comme montré dans la figure 6. Le degré de polymérisation de l'inuline varie entre 2 et 70 unités fructose en fonction des conditions climatiques (Waterhouse et Chatterton, 1993).

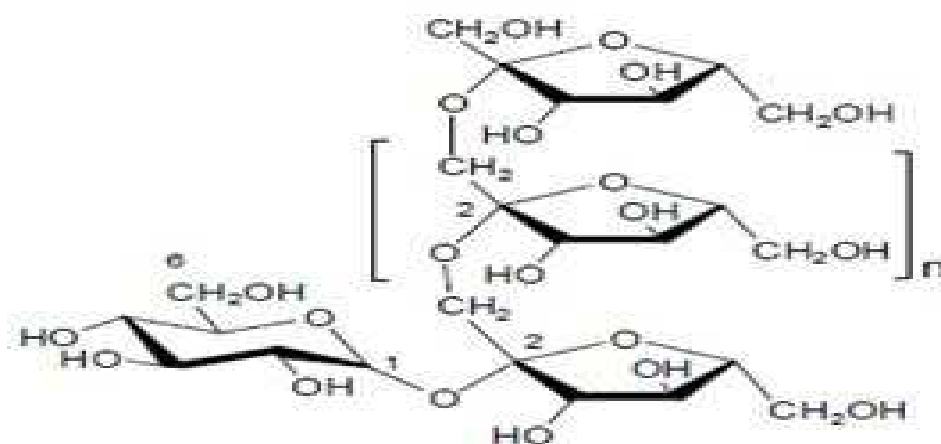


Figure 22. Structure chimique de l'inuline (Blecker et al., 2001).

L'inuline est présent dans les racines, les tubercules, les grains et les parties de la tige de certaines plantes (Van Laere et Van den Ende, 2002; Ritsema et Smeekens, 2003). Dans les monocotylédones, l'inuline est largement présents dans les herbes (Gramineae) (Ritsema et Smeekens, 2003) et les Liliaceae, comme, l'ail, l'oignon, le poireau, etc. (Shiomi, 1989). Par ailleurs, l'inuline dans les dicotylédones est présent à une teneur élevée dans les (Asteraceae), incluant, la chicorée, le topinambour, l'artichaut, et autres (Shiomi, 1989 ; Wilson et al., 2004, Orthen et Wehrmeyer, 2004 ; Shiomi et al., 2006). L'ensemble de plantes contenant de l'inuline sont résumées dans le **Tableau 16**.

Tableau 16. Plantes riches en inulines (Singh, 2010).

Nom botanique	Nom commun	Parties riches en inuline (% Matière sèche)
Agave americana	Agave américain	lobes 7–10
Allium cepa	Oignon	bulbe 2–6
Allium sativum	Ail	bulbe 9–16
Arctium sp.	Bardanes	racines 3.5–4
Asparagus officinalis	Safed Musli / shatavari	racines tubercules 10–15
Asparagus racemosus	Safed Musli / shatavari	racines tubercules 12–22
Cichoriumintybus	Chicorée	racines 3–10
Cynaracardunculus	Artichaut	feuilles 15–20
Dahlia sp.	Dahlia	racines tubercules 14–19
Helianthustuberosus	Artichaut de Jérusalem	tubercules 0.5–1.5
Hordeumvulgare	Orge	grains 8–13
Smallanthussonchifolius	Poire de terre	feuilles 12–15
Taraxacum officinale	Pissenlit	racines 15–20
Scorzonerahispanica	Spanishsalsify	racines 18–20
Saussurealappa	Saussurea	racines 7–10

IV.6.3. Les enzymes de dégradation d'inuline :

La dégradation des fructanes est réalisée par des enzymes de type fructane exohydrolases (FEHs, EC 3.2.1.80). Ces dernières sont des glycoprotéines solubles appartenant à la famille 32 des glycosides hydrolases (GH 32), enzymes qui catalysent l'hydrolyse des liaisons O- des glycosides, produisant un sucre hémiacétal avec son aglycone correspondant, comme mentionné dans la figure 7 (**Ritsema et Smeekens, 2003**).

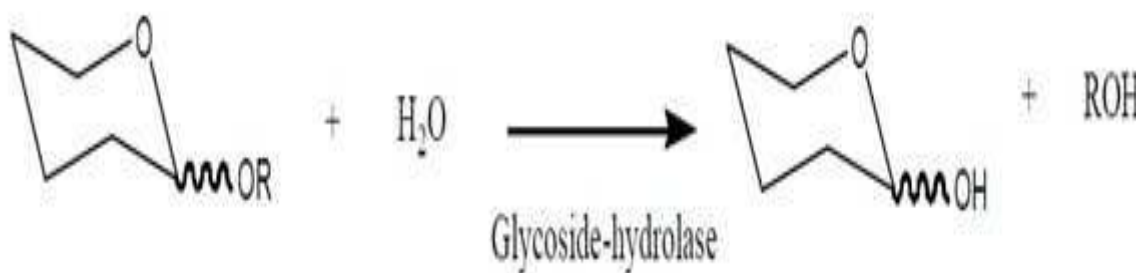


Figure 23 : Réaction générale des enzymes de type glycoside hydrolase (**Arrizon, 2001**).

En fonction du site d'hydrolyse, les glycosides hydrolases sont classés dans le groupe des exo-hydrolases ou des endo-hydrolases (figure 24).

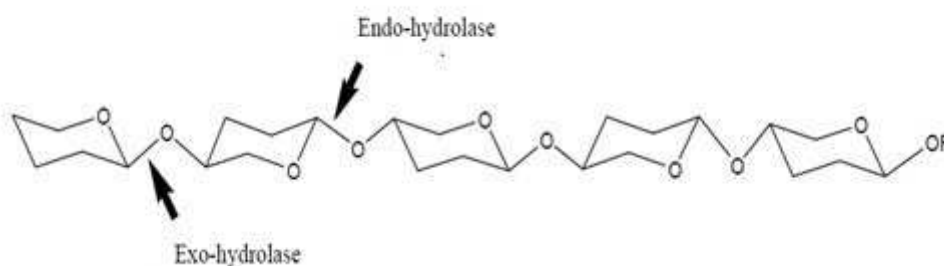


Figure 24 Sites de coupure des exo-hydrolase et des endo-hydrolase (**Arrizon, 2001**).

Les exo-inulinase et les endo-inulinases (E.C. 3.2.1.80 et E.C. 3.2.1.7) appartiennent à la famille des glycosides hydrolases. Elles sont responsables de l'hydrolyse des fructanes et elles sont, également, nommées fructanases.

a. Endo-inulinase :

L'endo-inulinase est spécifique à l'inuline et hydrolyse les liens internes β -(2,1) fructofurannosidique (figure 25) pour donner des inulotriose, inulotetraose et inulopentaose comme produits principaux (Kim et al., 1999).

b. Exo-inulinase :

L'exo-inulinase quant à elle, libère les unités de fructose terminales dans l'inuline (Vandamme et Derycke, 1983 ; Ritsema et Smeekens, 2003).

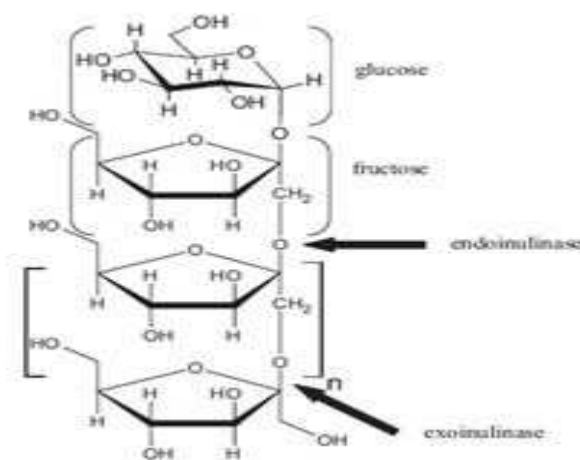


Figure 25 Sites de coupures des endo et des exo-inulinase (Singh, .2010).

c. Voie de dégradation de l'inuline :

Le mécanisme moléculaire de la réaction d'hydrolyse des glycosides hydrolases est décrit dans la figure 26 avec l'exemple de l'exo-inulinase d'*Aspergillus awamari* (Nagem et al., 2004). Au cours d'une première étape, la nucléophile attaque le carbone C2 du résidu fructosyl terminal. Un intermédiaire covalent de type fructosyl-enzyme est formé et une molécule d'aglycone est libérée dans le milieu. Lors de la seconde étape, le résidu acide/base déprotoné joue le rôle de base pour activer une molécule d'eau venant attaquer l'intermédiaire fructosyl enzyme. La liaison fructosyl-enzyme intermédiaire se rompt et libère la molécule de fructose.

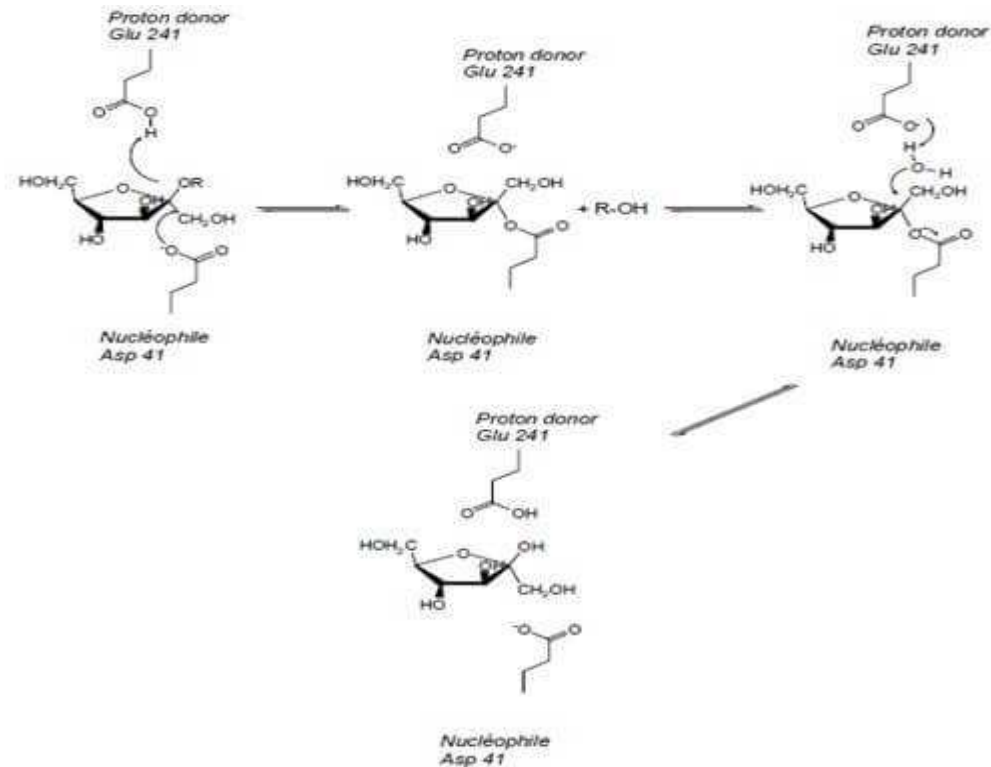


Figure 26 Schéma du mécanisme catalytique de l'exo-inulinase d'*Aspergillus awamori* (Nagem et al., 2004).

L'exo-inulinase d'*Aspergillus awamori* a été cristallisée et la reconnaissance du substrat est caractérisée. Deux acides aminés, l'acide aspartique 41 et l'acide glutamique 214 du site actif de la protéine fonctionnent comme le nucléophile et le catalyseur acide/base respectivement (Nagem et al., 2004). Pour la majorité des glycoside-hydrolases, les acides aminés glutamiques et aspartiques sont communément trouvés au niveau du site actif. Les termes de fructo-oligosaccharides (FOS) et d'oligofructose sont utilisés pour des inulines de faible poids moléculaire.

L'inuline est formée de nombreuses molécules de bêta-fructose. Elle donne aux légumes qui en renferment une saveur un peu sucrée très caractéristique. L'inuline agit d'ailleurs de façon paradoxale sur les récepteurs du goût sucré situés sur la langue : lorsqu'on boit de l'eau après avoir mangé des topinambours (ou tout légume riche en inuline), elle paraît sucrée.

IV.6.4. Principes actifs et propriétés médicinales :

1) Inuline et oligofructose :

Les principaux composés actifs du topinambour sont l'inuline et l'oligofructose, des glucides de la famille des fructanes. Ces composés sont présents dans d'autres aliments, tels la chicorée, l'ail, l'oignon, le blé et l'asperge. Bien que le blé et l'oignon soient les deux principales sources d'inuline et d'oligofructose de la diète nord-américaine, ce sont la chicorée et le topinambour qui en sont les sources les plus concentrées. Ces glucides ne sont pas absorbés par l'organisme, ce qui leur confère des propriétés santé particulières (**Robert Desmarais, 2007**).

2) Santé intestinale :

Comme les fructanes ne peuvent être digérés dans la partie supérieure du tube digestif, ils peuvent atteindre le côlon et modifier la composition de la flore intestinale en stimulant la croissance des bonnes bactéries (bifidobactéries) et en réduisant les espèces potentiellement nuisibles. On peut donc les considérer comme des prébiotiques. Cet effet serait observé à des doses aussi minimales que 5 g d'inuline par jour, une alimentation nord-américaine fournissant en moyenne 2,6 g d'inuline et 2,5 g d'oligofructose quotidiennement. Fait à noter, le topinambour contient environ 18 g d'inuline et 13 g d'oligofructose par 100 g.

La présence de bonnes bactéries dans le côlon est essentielle pour la prévention de plusieurs maladies et pour le maintien de la santé. Ainsi, de façon générale, les fructanes participent à l'équilibre de la flore intestinale et peuvent réduire la constipation en augmentant le poids, le volume et la fréquence des selles. L'effet de la consommation spécifique de topinambour sur ces symptômes n'a pas été évalué (**Robert Desmarais, 2007**).

3) Intérêt de l'inuline dans la maladie de Crohn :

L'étude de différentes inulines a été menée sur des rats qui recevaient du dextran sulfate pour le modèle de rectocolite hémorragique ou du trinitrobenzène sulfonate pour le modèle de maladie de Crohn. L'introduction de ces prébiotiques chez les rats montrait une augmentation des bifidobactéries et des lactobacillus au niveau de la flore colique et caecale, appelé effet bifidogène. Cette modulation du microbiote était également associée à une augmentation de cytokines anti-inflammatoires et de facteurs immunomodulateurs en dépit d'une diminution

de cytokines pro-inflammatoires et de signes de colites et d'inflammation. Cette observation a été confirmée chez l'homme par une étude réalisée sur 10 sujets atteints de MC, chez qui a été mis en évidence une augmentation des concentrations fécales des bifidobactéries ainsi qu'une augmentation du nombre de cellules dendritiques à l'origine de la production d'IL-10, cytokine anti-inflammatoire (**Roberfroid M, 2007**).

4) Glycémie et insulinémie :

Une étude effectuée chez des sujets en santé a démontré que l'ingestion de fructanes isolés du topinambour provoquait une faible augmentation du glucose et de l'insuline sanguins comparativement à l'ingestion de fructose, un sucre augmentant peu la glycémie.

5) Cancer :

Des études chez l'animal ont démontré des résultats prometteurs quant à la prévention des cancers du côlon et du sein par certains fructanes, dont l'inuline et l'oligofructose. Des différents mécanismes d'action investigués, notons le changement dans la composition de la flore intestinale qui amènerait une protection contre certains pathogènes. Il est à noter que ces résultats sont préliminaires et que davantage d'études devront être effectuées afin de confirmer un réel effet de prévention de cancer chez l'humain.

6) Lipides sanguins :

Les effets que pourraient exercer l'inuline et l'oligofructose sur les lipides sanguins sont controversés, les études donnant des résultats différents. En effet, certaines d'entre elles n'observent aucun effet à la suite de l'ingestion de fructanes, d'autres ont remarqué une diminution des triglycérides sanguins. De plus, dans quelques études, la consommation d'inuline a diminué les triglycérides sanguins chez des sujets légèrement hypertriglycéridémiques. Chez des sujets diabétiques, l'ingestion de fructanes synthétiques a amené une diminution du cholestérol total et du cholestérol LDL (mauvais cholestérol), mais pas chez des sujets en santé. Encore une fois, les effets de la consommation de topinambour sur les lipides sanguins n'ont pas été évalués (**Robert Desmarais, 2007**).

Chapitre V

Matériels et méthodes

V.1 Lieu de stage :

L'étude a été effectuée dans la laiterie et fromagerie Tessala de Sidi Bel Abbés appelé aussi GIPLAIT, ainsi qu'au niveau du laboratoire de microbiologie générale du département de biologie, faculté des sciences de la nature et de la vie, université DJILALI LIABES Sidi Bel Abbés, durant une période d'environ 1 mois allant du 12 août jusqu'au 02 septembre 2020.

V.1.1 Présentation de l'entreprise :

L'OROLAIT (office régional ouest des produits laitiers) est placé sous le guide du ministère de l'agriculture et de l'élevage et a pour tutelle la direction générale de l'ouest dont le siège est à Oran. Sa mission principale est de produire et assurer la commercialisation du lait et des produits laitiers à travers le territoire national (**Web master 18**).

Elle comprend huit unités opérationnelles. Parmi ces unités nous avons : l'OROLAIT de Sidi Bel Abbés. Le projet a démarré en 1974 (**Web master 18**). L'entreprise est limitée au nord par la route de TENIIRA, au sud par le prolongement du village Hai El Houria, à l'est l'escadron de la gendarmerie nationale et à l'ouest par l'école de la santé militaire.



Figure 27 : L'unité GIPLAIT Sidi Bel Abbés

V.2 Matériel végétale :

V.2.1 Origine des tubercules de topinambour :

Nous avons utilisé des tubercules de topinambour récoltés début février dans la région de Kheireddine (commune de la wilaya de Mostaganem). Elles ont la même couleur (brune foncée) et une taille et forme similaire, dans la mesure du possible, les tubercules ont été utilisés frais, mais dans certains cas, leur conservation a été obtenue par réfrigération à + 5°C ou par congélation en sachets en plastiques après broyage.

V.2.2 Préparation de l'échantillon :

Les échantillons de tubercule de topinambour crus ont été soumis à des procédures de préparation du lavage au broyage pour être une poudre d'inuline comme indiqué sur le diagramme de la **Figure 28**. Les échantillons de tubercule de topinambour fraîchement récoltés ont été lavés et coupés en tranches d'environ 2 mm d'épaisseur. Ensuite, les tranches ont été immédiatement immergées dans une solution d'acide citrique à 0,5% (P/V) pendant 5 min et blanchies dans de l'eau bouillante pendant 2 min. Les tranches ont été égouttées et transférées directement dans une étuve réglant la température de séchage à 65 ° C. Les échantillons ont été séchés jusqu'à atteindre une teneur d'humidité qui ne dépassant pas 8%. Enfin, les tranches du topinambour séchées ont été broyées en poudre fine à l'aide d'un moulin électrique. La poudre du tubercule de topinambour a été stockée dans des bocaux en verre recouvert en papier d'aluminium et conserver en congélation a une température de 0 ° C pour une utilisation ultérieure.

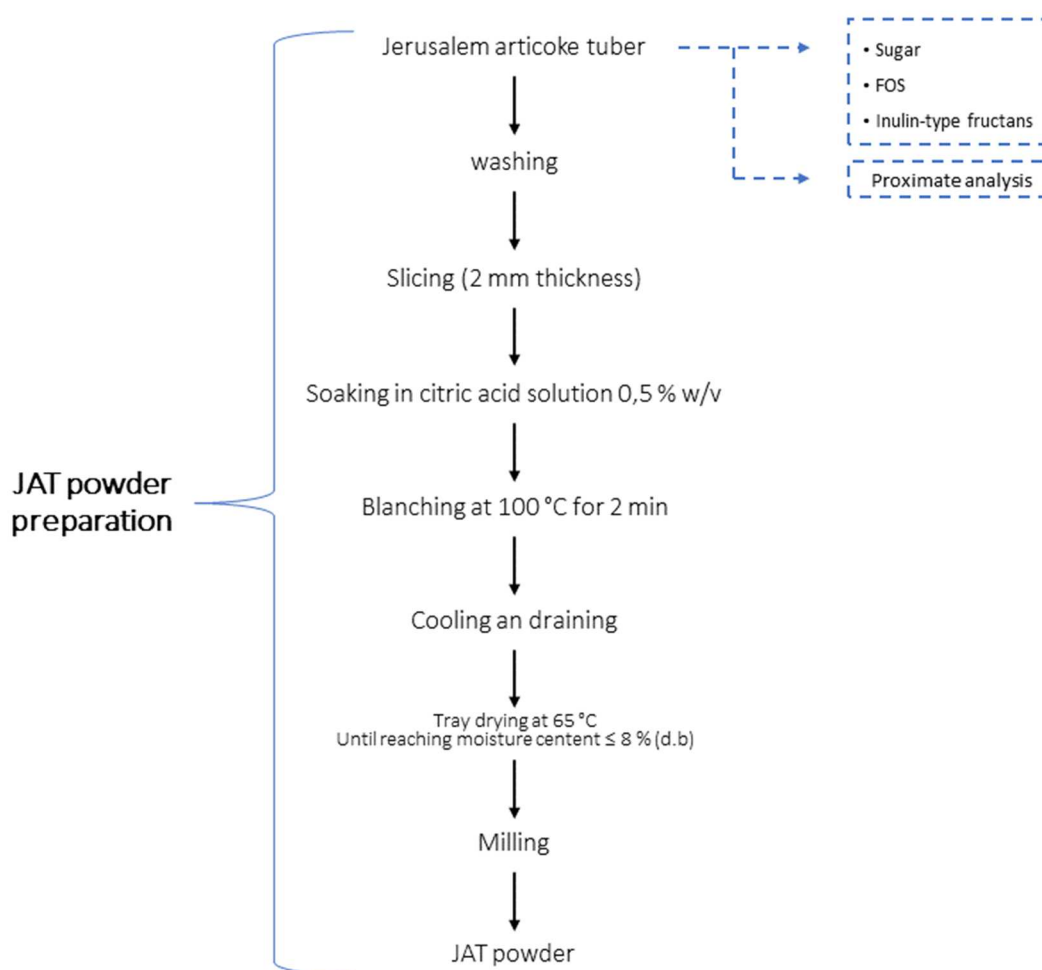


Figure.28 : Procédures de préparation de la poudre d'inuline à partir du tubercule de topinambour. (D'après K. KHUENPET et AL.2016).

V.3 Matériels biologiques :

Le mélange de ferment lactique utiliser par l'unité OROLAIT Sidi Bel Abbès, comportant *Streptococcus thermophilus* (à 99%) et *Lactobacillus bulgaricus* (à 1%) de référence ST-B01 conditionné sous forme lyophilisée, est fourni par CHR Hansen (Danemark). Stocker dans une température de $< -18^{\circ}\text{C}$. **Figure 29.**



Figure 29 : Les ferments utiliser par l'unité Giplait.

V.4 Préparation de lait :

Le lait qui parvient à l'usine provient d'après les éleveurs, il est acheminé au moyen des camions citernes qui assurent un transport à une température de 4 à 6°C. Une fois on réceptionne le lait, il est subit à une série d'analyse physico-chimique et microbiologique.

Si le lait répond aux critères d'acceptation, conformes aux normes algériennes selon l'arrêté interministériel du 18 août 1993 relatif aux spécifications et à la présentation de certains laits de consommation (JORA n°069 du 27-10-1993), il va être stocké dans des tanks puis pasteurisé pour se diriger vers la cuve dans laquelle il faut mettre une quantité bien précise des ferments (2.5%), de la présure (30cc/100L), et le calcium de chlorure (CaCl_2).

V.4.1 Echantillonnage :

Des échantillons d'environ 1 litre sont pris à partir de la cuve de fermentation après l'ajout des ferments à l'aide des outils stériles et dans des conditions d'asepsies afin d'éviter tout type de contamination qui vont faussée nos résultats. Le lait a été recueilli dans un flacon en verre de 1000 ml stérile, conservé dans une glacière et acheminé directement au laboratoire.



Figure 30 : Un échantillon de lait pris depuis l'unité GIPLAIT

V.4.2 Addition de poudre de topinambour :

Le lait a été distribué à raison de 100ml dans quatre béchers contenant préalablement des concentrations croissantes d'inuline (1% ; 2% et 3%) plus un témoin, tout en chauffant et agitant le mélange à 40 C°. **Figure 31.**

Avant l'addition de la poudre de topinambour des tests sont réalisés pour déterminer la température appropriée de solubilisation de la poudre dans le lait afin d'éviter la formation des caillots. **Figure 32.**



Figure 31 : Addition de poudre de topinambour avec des concentrations croissantes.



Figure 32 : Un test de la température de dissolution de la poudre dans le lait.

V.5 Analyses physicochimiques :

V.5.1 Cinétique d'acidification (suivi du pH)

La cinétique d'acidification du lait est suivie par la mesure du pH à des intervalles de 2h à partir du démarrage (T0h) jusqu'à la fin de la fermentation (T6h). Aussi, après acidification les échantillons sont conservés à 6°C jusqu'à 21 jours et des analyses sont faites tous les 07 jours. La cinétique d'acidification du lait est suivie par la mesure du pH à l'aide d'un pH-mètre préalablement étalonné.

Les vitesses maximales d'acidification ($\Delta\text{pH max}/\Delta t$) de chaque culture bactérienne sont calculées selon l'équation donnée par **Desjardins et al. (1991)** :

$$\Delta\text{pH max}/\Delta t = \text{pH}_1 - \text{pH}_2 / t_2 - t_1$$

Où pH1 et pH2 sont les valeurs de pH enregistrées aux temps t1 et t2 de la phase exponentielle, respectivement.

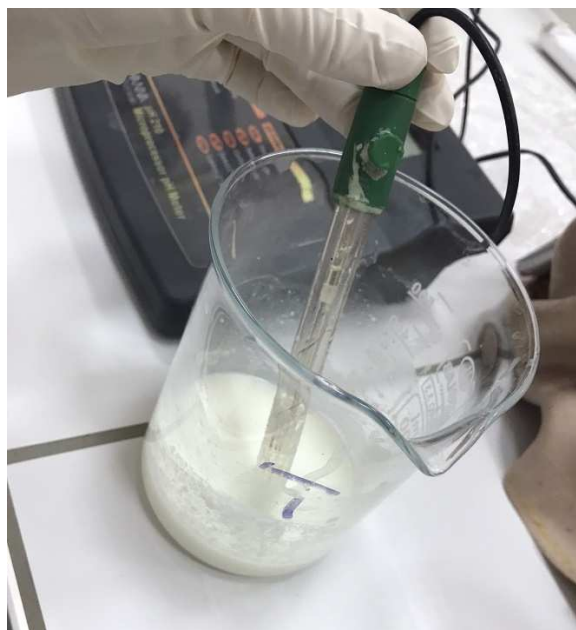


Figure 33 : la mesure du pH du lait à l'aide d'un pH mètre

V.6 Analyses microbiologiques :

V.6.1 Cinétique de croissance bactériennes :

Afin de procéder au dénombrement d'un échantillon, des dilutions décimales sont réalisées (3 dilutions pour chaque concentrations) dans de l'eau distillé (**Figure 34**).

Des prélèvements de 0,1ml sont effectués aux temps T0h, T2h, T4h, T6h, T7j, T14j, et T21j sont ensuiteensemencés en surface sur des géloses MRS en boîtes de Pétri (**Figure 35**), et elles sont incubées en anaérobie dans l'incubateur à 37°C pendant 48 à 72h. Après incubation, le comptage des colonies sur les boîtes de pétri est effectué (15 à 300). Le nombre de colonies (en UFC/ml de l'échantillon) est déterminé selon la formule suivante :

$$N = \frac{\sum c}{(n1 + 0,1. n2). d}$$

Avec :

$\sum C$: est la somme des colonies comptées sur les boîtes retenues ;

n1 : est le nombre de boîtes comptées à la dilution la plus faible ;

n2 : est le nombre de boîtes comptées à la dilution la plus élevée ;

d : est la valeur correspondante à la dilution à partir de laquelle les premiers dénombrements ont été retenus.



Figure 34 : les dilutions décimales.



Figure 35 a.b : ensemencement en surface sur des géloses MRS.



Figure 36 : Etalonnage à l'aide d'un étaleur stérile forme L.

V.7 Analyses statistiques :

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel STATVIEW. Les résultats ont été présentés sous forme de courbe et d'histogramme.

Chapitre VI

Résultat et discussion

VI.1 Cinétique d'acidification (suivi du pH) :

Toutes les fermentations sont stoppées volontairement (à un pH voisin de 4.7 par refroidissement rapide (6C°) du lait fermenté.

Nos données analytiques montrent que l'addition de poudre de topinambour s'accompagne avec une baisse de pH dès les 1^{ères} heures par rapport au témoin. Cette réduction est quelques peu proportionnelle à la concentration d'inuline au cours des deux premières heures et elle varie de 6.9% à 7.02 %, les baisses les plus importantes sont notées pour les deux concentrations 1% et 3% d'inuline après six heures.

En absence d'inuline du topinambour (témoin), la vitesse spécifique maximale d'acidification est de l'ordre de 0.255 h⁻¹, avec un temps de fermentation de l'ordre de 2 heures.

La synthèse d'acides organiques par la souche étudiée (*Streptococcus thermophilus*) est positivement affectée par la présence d'inuline par rapport au témoin. En effet, la vitesse d'acidification du lait diminue significativement et respectivement de 0.39h⁻¹ pour 1% d'inuline, à 0.37 h⁻¹ en présence de 2% et 3% d'inuline pour un intervalle de temps de fermentation de 2h.

L'évolution du pH des laits en absence ou en présence d'inuline est illustrée par la **Figure 36**.

Tableau 17 : Evolution du pH obtenu pour les 4 échantillons au cours de la fermentation du lait, et la vitesse d'acidification ($\Delta\text{pH} / \Delta t$ en h⁻¹) en absence (témoin) et en présence de différentes concentrations d'inuline de topinambour durant 21 jours.

Périodes (Jours)		Ph			
		Témoin	1%	2%	3%
1 jour	T ₀	6.36	5.92	5.99	5.86
	T ₂	5.85	5.14	5.24	5.11
	T ₄	5.60	4.88	5.03	4.90
	T ₆	5.37	4.78	4.92	4.83
7 jours		5.12	4.73	4.86	4.78
14 jours		5.10	4.72	4.85	4.76
21 jours		5.33	4.85	4.92	4.89
Périodes (Intervalle de 2h)		Vitesse max d'acidification ($\Delta\text{pH max}/\Delta t$) h ⁻¹			
		Témoin	1%	2%	3%
T ₀ -T ₂		0.255	0.39	0.375	0.375

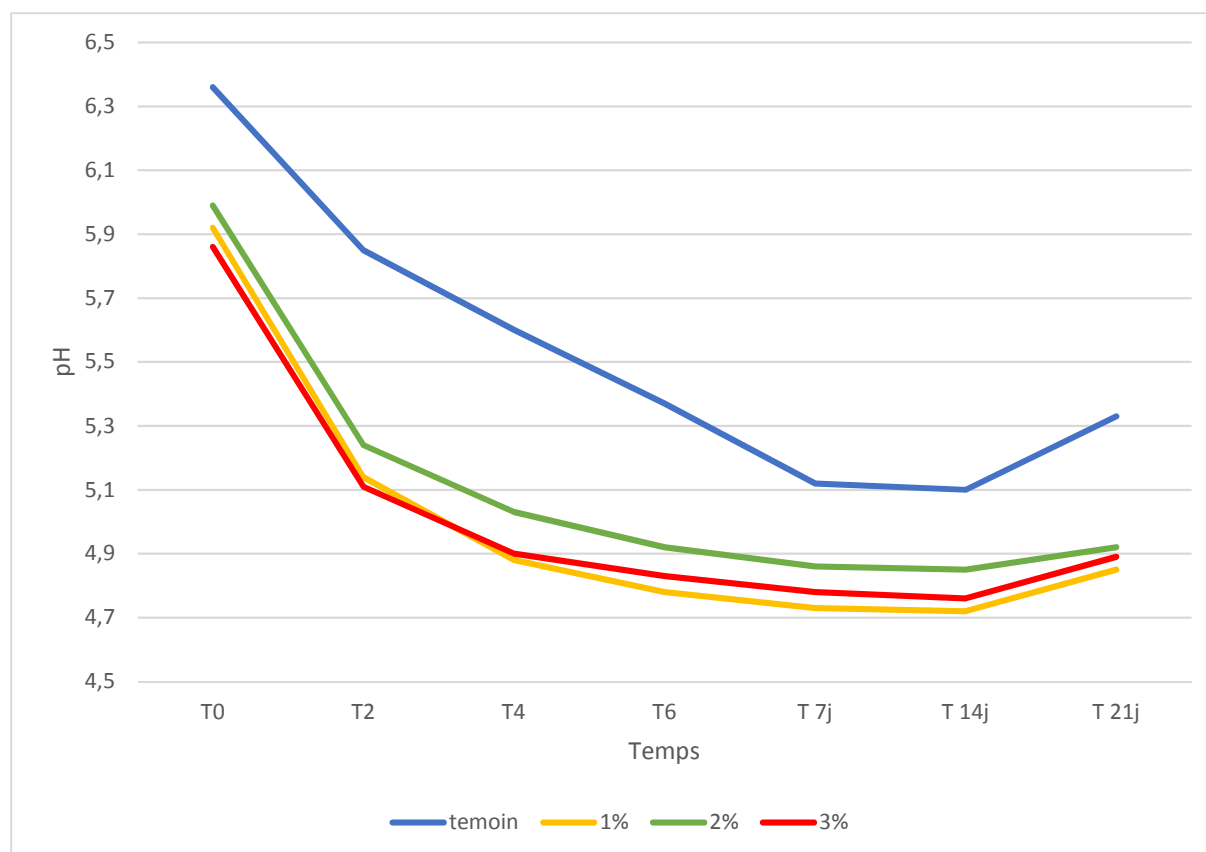


Figure 37 : Effets d'inuline de topinambour utilisées à 1% (—), 2% (—), et 3% (—) par rapport à un témoin sans inuline (—) sur la cinétique d'acidification du lait en fermentation par les streptococcus thermophilus à 37°C.

Discussions :

VI.2 Effet des différentes concentrations d'extrait d'inuline du topinambour sur la cinétique d'acidification du lait :

Nos résultats ont révélé une baisse du pH accompagnée d'une augmentation de l'acidité. Ces deux paramètres traduisent l'activité des microorganismes présents dans le milieu. En présence d'inuline de topinambour, les bactéries sont plus actives comme en témoigne la production d'acide lactique.

Cette activité des microorganismes à la présence d'inuline à une concentration de 1% est plus élevée par rapport aux autres concentrations et même au témoin ce qui signifie que c'est la dose idéale pour une accélération de la fermentation et pour une durée plus courte d'acidification du fromage, Sachant qu'à l'échelle industrielle la réduction de temps de maturation est très recherchée.

VI.3 Effets des différentes concentrations d'inuline du topinambour sur la cinétique de croissance des souches :

Les différents résultats de dénombrement bactérien sont résumés par la **Figure 37**.

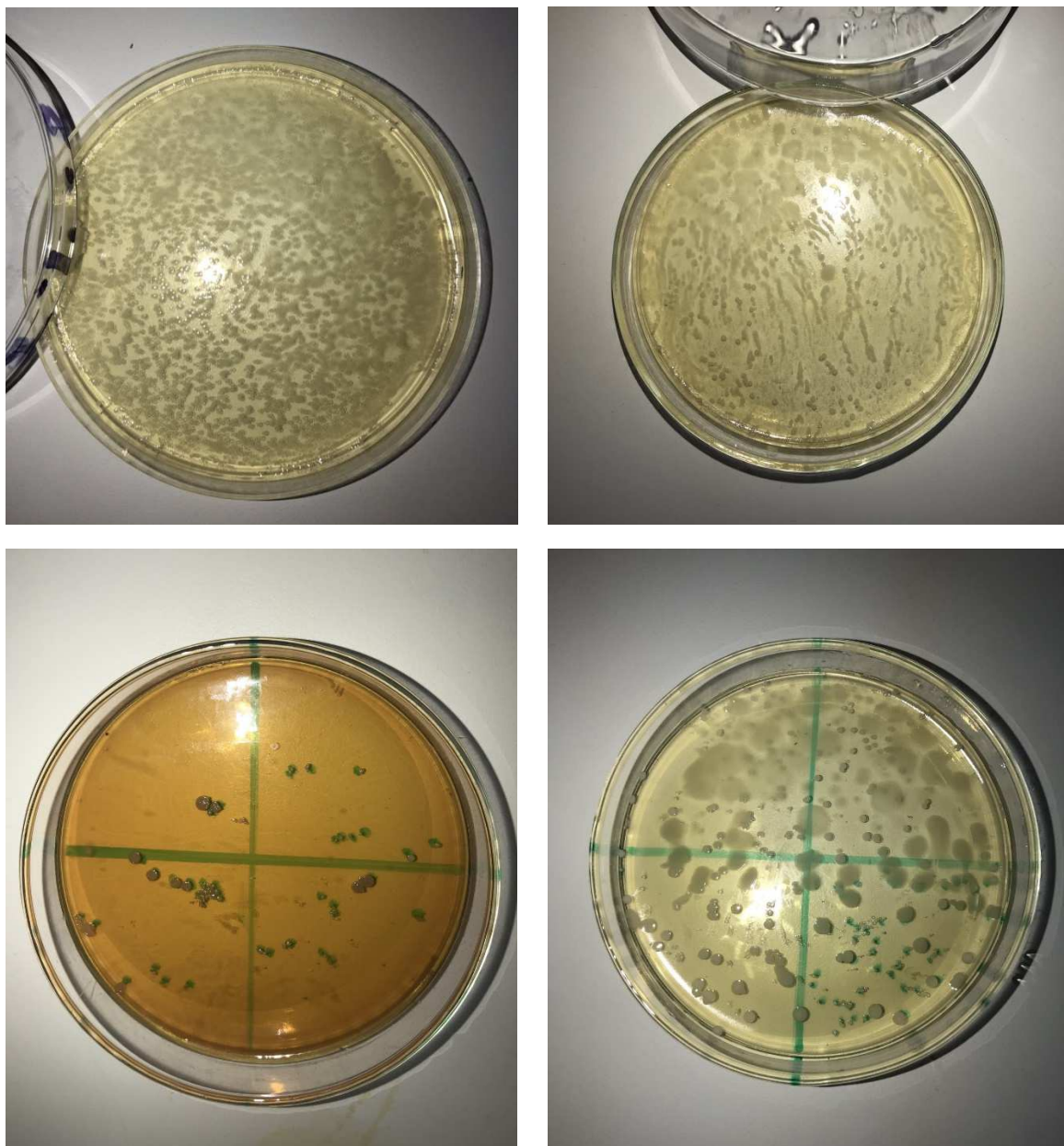


Figure 38 : Colonies de *Streptococcus thermophilus* ensemencé sur le milieu MRS et incubé pendant 72h.

La quantité de biomasse de *Streptococcus thermophilus* accumulée au cours de la fermentation du lait en présence de différentes concentrations d'inuline de topinambour est plus élevée (comprise entre 6.47 et 6.56 log UFC/mL) que celle enregistrée en absence d'inuline dans le témoin (6.33 log UFC/mL) dans les 14 premiers jours (**Figure. 38**).

Cependant, la quantité de biomasse de la souche lactique *Streptococcus thermophilus* la plus élevée a été enregistrée en présence de 1% (6.56 log UFC/mL), comparée à celles mesurées en présence de 2% (6.47 log UFC/mL), et 3% (6.55logUFC/mL) d'inuline, cet échantillon présente une augmentation d'environ 180×10^4 UFC/mL en seulement 7 jours (**Figure. 38**).

La même tendance est notée avec la vitesse spécifique maximale de croissance qui varie de 4.12 h^{-1} pour 1%, 0.97 h^{-1} pour 2% et 4.08 h^{-1} pour 3% d'inuline de topinambour et qui est égale à 0.9 h^{-1} dans le témoin (**Tableau 18**).

Tableau 18 : Nombre de colonies et la vitesse spécifique maximale de croissance des *Streptococcus thermophilus* en absence (témoin) et en présence de différentes concentrations d'inuline durant 21 jours.

Echantillons		Nombre de colonies de <i>Streptococcus thermophilus</i> $\times 10^5$ (UFC/mL)			
		Témoin	1%	2%	3%
1 ^{er} jours	2 heures	0.85	13	0.9	11.5
	4 heures	10.2	18.5	12.5	16
	6 heures	16.5	25.5	19	22.5
7 ^{eme} jours		18.2	31.4	24	29
14 ^{eme} jours		21.5	36	30	35.5
21 ^{eme} jours		19.6	28.1	23.5	26
		Vitesse spécifique maximale de croissance (μ max en h^{-1}) de <i>Streptococcus thermophilus</i>			
T2 – T6		0.9	4.12	0.97	4.08

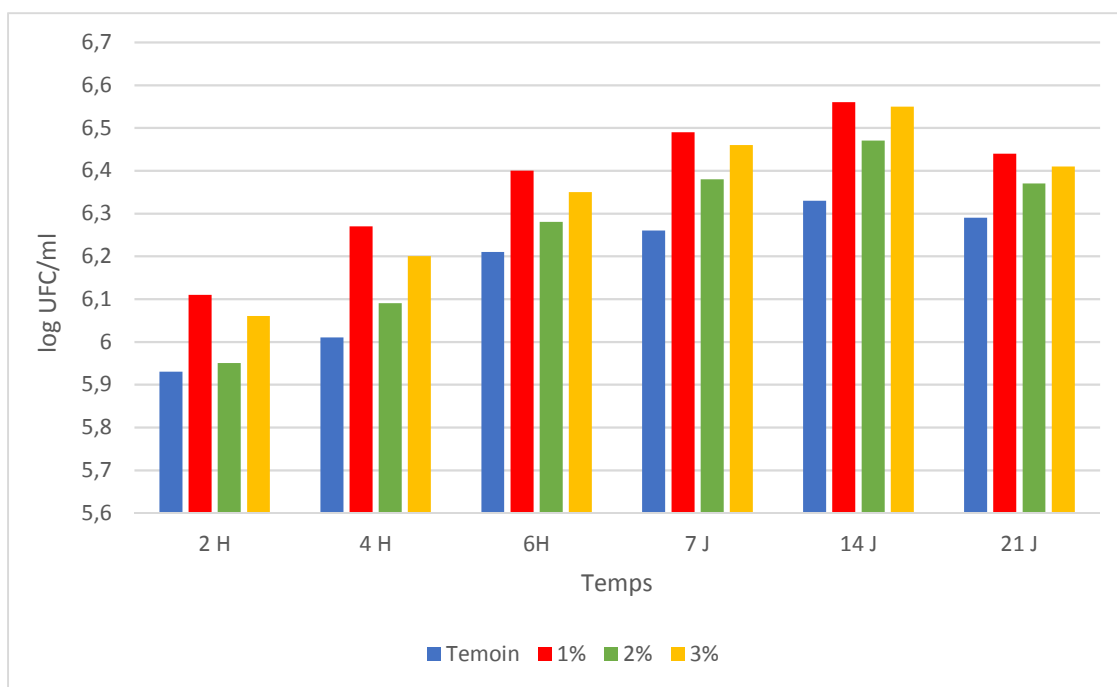


Figure 39 : Cinétique de croissance et de viabilité au cours de fermentation et de stockage à 6°C de *Streptococcus thermophilus* en absence (témoin) (■) ou en présence de 1% (■), 2% (■), et 3% (■) d'inuline de topinambour.

Discussions :

La fermentation résulte principalement de l'action de différents micro-organismes qui participent à la transformation du lait en fromage. L'évolution et l'activité de cette flore est très influencées par les conditions de fermentation (température, composition du lait). L'objectif principal de cette étude visait à la valorisation du tubercule de topinambour en l'introduisant dans un fromage type camembert afin d'étudier l'effet d'inuline du topinambour sur une souche bactérienne spécifique de fromage *Streptococcus thermophilus* pour obtenir un aliment fonctionnel à caractère nutritionnel et thérapeutique.

Pour ce faire, la poudre de topinambour a été additionnée à des concentrations de 1, 2 et 3% (P/V) d'inuline au laitensemencé par une souche *Streptococcus thermophilus*, puis des analyses sont effectuées à des intervalles de 2h à partir du démarrage (T0h) jusqu'à la fin de la fermentation (T6h). Aussi, après acidification les échantillons sont conservés à 6°C jusqu'à 21 jours. Les analyses ont été réalisées tous les 07 jours. Les fermentations ont été volontairement stoppées par refroidissement des tubes quand le pH du lait avait atteint 4.70. C'est le pH auquel la coagulation du lait est visible à l'œil nu.

A l'issue de la période de conservation, l'effet prébiotique d'inuline de topinambour est très clair sur les *Streptococcus thermophilus*. La croissance bactérienne s'établit dans une gamme comprise entre 5.93 à 6.29 log CFU/ml pour l'échantillons témoins contre 6.47 à 6.56 log CFU/ml pour les échantillons enrichis en inuline. Des observations similaires sont rapportées par **Esperito et al. (2010)** travaillent sur les poudres d'açaí.

Cette meilleure croissance des microorganismes s'explique par un apport élevé en hydrate de carbones par la poudre de topinambour utilisées et les différents micronutriments contenus dans ce prébiotique.

Bomba et al. (2002) rapportent que certains éléments chimiques tels que le fer et le Mg permettent l'augmentation de la viabilité des probiotiques. Les produits finaux du métabolisme des glucides (acide gras à courte chaîne) confèrent un effet positif sur les probiotiques en leurs servant de source d'énergie (**Kaplan et Hutkins, 2000**).

Pour tous les échantillons du lait, la viabilité des bactéries est maintenue après le 14^{ème} jour ; ce nombre commence à baisser pendant au 21^{ème} jour de stockage. La réduction de la quantité de prébiotiques et de micronutriments dans le lait serait à l'origine de ce phénomène.

CONCLUSION

Le premier aspect des observations faites à l'issue de ce travail concerne l'effet d'inuline de topinambour sur le pouvoir d'acidification des souches. Selon nos résultats, étant donné que l'inuline à une concentration de 1%, son addition à la culture contribue à faire chuter le pH initial du lait ; et ceci se répercute bien entendu sur le pH final du camembert. L'inuline de topinambour donc provoquent une accélération du temps de coagulation du lait en raison de la latence plus rapide dans la synthèse d'acides lactique par les souches acidifiantes.

Le deuxième aspect vérifié, concerne la cinétique de croissance bactérienne. L'inuline de topinambour à une concentration de 1 % ajoutées au lait exercent, effectivement, une stimulation de la croissance des souches qui affichent des biomasses pouvant aller jusqu'à 6.56 log UFC/g, contre 6.29 log UFC/g dans l'échantillon témoins (sans inuline)

L'ensemble des résultats enregistrés nous permet de dire que l'inuline de topinambour a un effet prébiotique appréciable sur les ferments lactiques et en conséquence sur les bactéries bénéfiques, afin de maintenir le nombre de cellules à une concentration de 10^5 cfu / ml (concentration nécessaire afin d'être qualifié de probiotique produit laitier avec des bienfaits pour la santé organisme humain).

Les perspectives de ce travail seraient de combiner avec succès un produit probiotique avec une fibre alimentaire soluble prébiotique, pour obtenir un produit dans lequel après 14 jours à compter de la passation de marché, le nombre de souches a augmenté de manière significative, assurant un effet bénéfique pour la microflore intestinale.

Référence bibliographique

A

- ❖ ABDOUNE O. (2003). Qualité du fromage à pâte molle type Camembert fabriqué à la laiterie Draa ben khedda: nature de la matière première et évaluation de l'activité protéolytique au cours de l'affinage et de l'entreposage réfrigéré du fromage .mémoire de magister en science alimentaire, Constantine, 88 pages
- ❖ AFSSA. (2002). Les fibres alimentaires : définition, méthodes de dosage, allégations nutritionnelles. Rapport du comité d'experts spécialisé Nutrition humaine.
- ❖ Alais C. et Linden G ., 1997.Abrégé de biochimie alimentaire. 4 ème Edition. Masson. Alais C. et Linden G., 1997.Biochimie alimentaire. Edition Masson.
- ❖ ALAIS C. et LINDEN G., 1997. Abrégé de biochimie alimentaire. 4ième éd. , Masson,248p
- ❖ ANNE-SOPHIE LUGUET-SABOULARD, (2013), Cuisiner les légumes oubliés, c'est malin, Paris, Leduc. S, coll. « Malin », p. 8.
- ❖ Anonyme (1995). FOA. Organisation des nations unies pour alimentation et l'agriculture, catalogage avant publication de la bibliothèque Davide Lubin, Italie. 179-186 p.
- ❖ ANZFA (Australie Nouvelle-Zélande Food Authority). 2000. Avis de proposition de modification du règlement sur les aliments et nouvelle invitation à soumettre . Application 227 . Inuline et fructooligosaccharides en tant que fibres alimentaires .Canberry: ANZFA.
- ❖ AXELSSON, L. (1998). Lactic acid bacteria: classification and physiology. Lactic Acid Bacteria: Microbiology and Functional Aspects (Salminen S. et von Wright A. (Editeurs), Marcel Dekker.).
- ❖ Aymard Pierre. (2010). Amélioration nutritionnelle des produits céréaliers par les fibres : un challenge technologique. cahiers de nutrition et de diététique ; 45(5) : 246-254.

B

- ❖ BACON, J. S. D. & EDELMAN, J. (1951). The carbohydrates of the Jerusalem artichoke and other Compositae. *Biochem. J.*, 48, 114.
- ❖ BallongueJ ,schumann C ,quignon P (1997). Effet of lactulose and lactitol on colonic microflora and enzymatic activity.scandinavian journal of gastroenterology,32 (suppl.222) :41-44

- ❖ BENLOUCIF R. OULMI A., 2017. Etude du procédé de production du fromage du type camembert : Effet de la nature des microorganismes sur la qualité du produit. Mémoire Master Professionnalisant, Université Frère Mentouri Constantine 1, 102pages
- ❖ Bertrand F. (1988). Le fromage grand œuvre des microbes. Revue générale de froid, 78,519527p.
- ❖ Blecker, C., Chevalier, J.P., Van Herck, J.C., Fougnes, C., Deroanne, C. et Paquot, M. (2001). Inulin: Its physicochemical properties and technological functionality. Recent Res. Devel. Agricultural Food Chem. pp: 126-131.
- ❖ BocléJ.Chr, Champ Martine, Berta J.L. (2005). Les fibres alimentaires: Déterminants physicochimique, définition, aspects analytiques et physiologiques. Cahiers de nutrition et diététique ; 40(1) :15-21
- ❖ Bodinier M. et Goubeyre P. 2012. Les prébiotiques : une stratégie pour lutter contre les allergies. Prebiotics: astrategy to fight allergies. La Lettre du Pneumologue.15 : 4.
- ❖ Boehm G., Lidestri M. et Casetta P. 2002. Supplementation of a bovine milk formula with an oligosaccharide misture increases counts of faecalbifidobacteria in preterm infants. Archives Disease Child. 86: 178–81
- ❖ Boerjan, W., Ralph, J., &Baucher, M. (2003). Ligninbiosynthesis. AnnualReview of Plant Biology, 54(1), 519-546.
- ❖ BOMBA A, NEMCOVÀ R, MUDRONOVÀ D, GUBA P (2002) The possibilities of potentiating the efficacy of probiotics.Trends Food Sci Technol 13:121-126.
- ❖ BOSWELL, V. R. (1959). Growing the Jerusalem artichoke. Leaflet No. 116, US Dept. of Agric., Washington, DC.
- ❖ Braegger C. 2004. Prébiotiques. Fortbildung/ Formation continue. Paediatrica. 15:6.
- ❖ Brommage R, binacuaC ,Antille S, carrié AI (1993). Intestinal calcium absorption in rats is stimulated by dietary lactulose and other resistant sugars. Journal of nutrition ,123:2186-2194
- ❖ Bruneton Jean (2009). Pharmacognosie, phytochimie, plante médicinales.4èmeEdition. Lavoisier. p : 58-87.
- ❖ Bureau L. (2016). Microbiote et plantes (partie 1) : introduction et application pratique aux maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (MICI). Phytothérapie ; 14(6) : 370-375.

C

- ❖ Cabrol C. septembre (2006): Comité scientifique du pain Pain et nutrition-1re edi
- ❖ CAPLICE, E., et G. F. FITZGERALD. (1999). Food fermentations: role of microorganisms in food production and preservation. Int J Food Microbiol. 50(1-2):131-49.

- ❖ Challa A. Rao DR, Chawan CB, Shackel –ford L(1997). Bifidobacterium longum and lactulose suppress azoxymethane induced colonic aberrant crypt foci in rats carcinogenesis ,18:517-521.
- ❖ CHAMPLAIN. S. DE. (1613), La voyages dv sievr de Champlain Xaintongeois, capitaine ordinaire pour le Roy, en la marine. Divisee en deux livres, Chez leanBerjon", Paris.
- ❖ Cho S., Devries J.W., et Prosky L. (1997): Dietary fiber analysis and applications; AOAC International: Gaithersburg.
- ❖ Cholet O. (2006). Étude de l'écosystème fromager par une approche biochimique et moléculaire, Institut national agronomique Paris-Grignon, Paris, France
- ❖ CHUBEY, B. B. & DORRELL, D. G. (1974). Jerusalem artichoke, a potential fructose crop for the prairies. *Canad. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 7, 98.
- ❖ COCAIGN-BOUSQUET M., GARRIGUES C., LOUBIERE P., LINDLEY N.D. (1996) Physiology of pyruvate metabolism in *Lactococcus lactis*. *Antonie van Leeuw.* 70: 253-267
- ❖ Collin, S., & Crouzet, J. (2011). Polyphénols et procédés: transformation des polyphénols au travers des procédés appliqués à l'agro-alimentaire. Paris: Éd. Tec & Doc. 337pp.
- ❖ COLLINS M.D., FARROW J.A.E. and JONES D., (1986). *Enterococcus mundtii* sp. nov. *Int J Syst Bacteriol.* 36:8–12.
- ❖ COLLINS M.D., JONES D., FARROW J.A.E., KILPPER-BALZ R. and SCHLEIFER K.H., (1984). *Enterococcus avium* nom. rev., comb. nov.; *E. casseliflavus* nom. rev., comb. nov.; *E. durans* nom. rev., comb. nov.; *E. gallinarum* comb. nov.; and *E. malodoratus* sp. Nov. *Int J Syst Evol Bacteriol.* 34(2):220–223.
- ❖ COLLINS M.D., SAMELIS J., METAXOPOULOS J. and WALLBANKS S., (1993). Taxonomic studies of some *Leuconostoc* like organisms from fermented sausages, description of a new genus *Weissella* for the *Leuconostoc paramesenteroides* group of species. *J. Appl. Bacteriol.* (75): 595-603.
- ❖ COMA (Comité sur les aspects médicaux de la politique alimentaire et nutritionnelle). 1998. Nouvelles du comité . Bulletin d'information sur la sécurité sanitaire des aliments , n ° 97. Aberdeen, Écosse: Food Standards Agency, MAFF, Department of Health.
- ❖ CONTI, F. W. (1953). Versuche zur Gewinnung von Sirup aus Topinambur (*Helianthus tuberosus*). *Die Strke*, 5, 310.
- ❖ COOKE RD, TWIDDY DR, REILLY PJA. Rev 1987. Lactic-acid fermentation as a low-cost means of food preservation in tropical countries. *FEMS Micro-biol*; 46: 369-79.
- ❖ Costa G.T., Guimaraes S.B. et Sampaio H.A.C. 2012. Fructo-oligosaccharide effects on blood glucose. An overview. *Acta Cirurgica Brasileira*. 3: 279-282.

- ❖ COUPLAN, FRANÇOIS. (1986), Retrouvez les légumes oubliés : 50 légumes condiments et fruits, culture, historique, propriétés, recettes, La Maison rustique. 51.
- ❖ Coussement p (1996). Pre –and synbiotics with inulin and oligofructose. Food Tech Europe, 102-104
- ❖ Crittenden G. prebiotics. In: Tannock G, Wymondham (1999). Probiotics: A critical review. Horizon Scientific press, UK, 141-156.
- ❖ Crittenden R.G., Laitila A., Forssell P., Matto J., Saarela M. et Mattila-Sandholm T. 2001. Adhesion of bifidobacteria to granular starch and its implications in probiotic Technologies. Applied Environmental Microbiology. 67: 3469-3475.

D

- ❖ D.N. SHOEMAKER Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale, 8^e année, bulletin n°86, octobre 1928. pp. 715- 728.
- ❖ DANIEL NAYLOR SHOEMAKER. (1927). The Jerusalem Artichoke as a Crop Plant. Formerly Horticulturist Division of Fruit and Vegetable Crops and Diseases Bureau of Plant Industry. Technical Bulletin No 33. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE WASHINGTON DC.
- ❖ DAUIMONTI, L. (1979). The alternative potato. *Organic Gardening*, 26, 34.
- ❖ DE AMBROSINI V.M., GONZALEZ S., PERDIGON G., DE RUIZ HOLGADO A.P. et OLIVER G., (1996). Chemical composition of the cell wall of lactic acid bacteria and related species. *Chem Pharm Bull (Tokyo)*, 44(12): 2263–2267.
- ❖ DE ROISSART H, LUQUET FM. (1994). Bactéries lactiques. Aspects fondamentaux et technologiques. Uriage : Lorica; 605 p et 614 p.
- ❖ DÉLATTRE CÉDRIC., 2005. Stratégie d'obtention d'oligosaccharides anioniques par dégradation enzymatique de gluconate, pdf, 4-11
- ❖ DELLAGLIO F., DE ROISSARD H., TORRIANI S., CURK M.C. et JANSSENS D., (1994). Caractéristiques générales des bactéries lactiques. In : Bactéries lactiques (De Roissard H. et Luquet F.M.). *Lorica, Uriage*. 1 : 25-116.
- ❖ Delzenne N.M., Roberfroid M.R., (1994)., Physiological effect on non-digestible oligosaccharides. *Lebensm. -Wiss. U. Technol*, 27, 1–6.
- ❖ DESMAZEAUD M. (1983) L'état des connaissances en matière de nutrition des bactéries lactiques. *Le Lait* ; 63 : 267-16.

- ❖ DOLEYRES Y. (2003). Production en continue de ferment lactique probiotique par la technologie des cellules immobilisées. Thèse de doctorat. Université de laval, Quebec.
- ❖ Dr Chos D. Microbiote intestinal, la santé du futur. Paris, France : IEDM ; 2016. 8 p.
- ❖ DRIDER D. et al., (2006). The continuing story of class IIabacteriocin. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 70(2), 564-582.
- ❖ DU MONT.H. (1877). Sur la culture et l'alcolisation du topinambour Jour Agr (Barral) 12 (4) : 384-388/ 423-427.

E

- ❖ Eck A., (1990). Le Fromage 3eme Edition, Techniques et Documentation, Lavoisier, Paris.
- ❖ EIHE, E. P. (1976). Problems of the chemistry and biochemistry of the Jerusalem artichoke. *Lativi]as PSR ZinatmiAkademiiasVestis*, 344, 77.
- ❖ EIJSINK V.G. ET AL., (1998). Comparative studies of class IIabacteriocins of lactic acid bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 64(9), 3275-3281.
- ❖ Enders G. Le charme discret de l'intestin. Actes Sud Editions ; 2017. 368 p.
- ❖ ESPIRITO SANTO AP, SILVA RC, SOARES FASM, ANJOS D, GIOIELLI LA, OLIVEIRA MN (2010) Açai pulp addition improves fatty acid profile and probiotic viability in yoghurt. *Int Dairy J* 20:415-422.

F

- ❖ FAO / OMS (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture / Organisation mondiale de la santé). 1995. Lignes directrices pour l'étiquetage nutritionnel . Codex Alimentarius, Volume 1A, Exigences générales . Rome: FAO.
- ❖ Favre G. 2004. Prébiotiques et probiotiques : ont-ils un réel intérêt pour la santé. Rôle du pharmacien dans leur conseil à l'officine. Thèse de doctorat en pharmacie. Université Joseph Fourier. 95p.
- ❖ FIMLAND G. et al., (2000). A C-terminal disulfide bridge in pediocin-like bacteriocins renders bacteriocin activity less temperature dependent and is a major determinant of the antimicrobial spectrum. *J. Bacteriol.*, 182, 2643-2648.
- ❖ Frank S., Tatdao P. et Darry S. 2007. Isomerisation of lactose to lactulose using milk concentration permeate and oyster shell powder. School of Applied Science Food Science. RMIT université. Melbourne, Australia

G

- ❖ GAROLA C.V. (1924), Plantes fourragères, Paris, J.-B. Baillière et fils, p. 293.
- ❖ GASSON MJ. (Rev 1993) Progress and potential in the biotechnology of lactic acid bacteria. FEMS Microbiol; 12: 3-20.
- ❖ Ghouri YA, Richards DM, Rahimi EF, Krill JT, Jelinek KA, DuPont AW (2014). Systematic review of randomized controlled trials of probiotics, prebiotics, and synbiotics in inflammatory bowel disease. Clin ExpGastroenterol.;7:473-87.
- ❖ Gibson G.R., Berry-ottaway P. et Rastallr A. 2000. Prebiotics: new developments in functional foods. Chandos Publishing Limited. Oxford.
- ❖ GIBSON GR, (1995) Roberfroid MB. Dietary modulation of the colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. J. Nutr; 125 : 1401-1412.
- ❖ Gibson GR, Probert HM, Van Loo J et al. (2004). Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of the prebiotics. Nutrition Research Reviews, 17 :259-275
- ❖ GILAROVÁ R., VOLDRICH M., DEMNEROVÁ K., CEROVSKÝ M. and DOBIÁS J., (1994). Cellular fatty acids analysis in the identification of lactic acid bacteria. *Int J Food Microbiol*, 24(12): 315–319.
- ❖ GOUIN.R. (1923). Les topinambours dans l'alimentation des porcs ; vie Agr et rurale 12 (1) : 5
- ❖ Guiraud J.P. (2003). Microbiologie Alimentaire. Edition DUNOD. Paris. pp : 136-139
- ❖ Gupta A, Turner SR. (2017). Cellulose. Encyclopedia of applied plant sciences. ELSEVIER Ltd. P: 125-190.

H

- ❖ Hardy J ., 2004 .Le chlorure de sodium dans le lait et les produits fromagers .In : Gaucheron.Feditor.Minéraux et produits laitiers,Paris ,France :Lavoisier Tec et Doc-pp 619643
- ❖ HASSAN A.N. and FRANK J.F., (2001). Starter Cultures and their use. *In: Applied Dairy Microbiology* (Marth E.H. et Steele J.L.) 2e Ed., Marcel Dekker, Inc. New York. 151-205.
- ❖ Heijnen AMP, Brink Ej, Lemmens AG, BeynenAC(1993). Ileal pH and apparent absorption of magnesium in rats fed on diets containing either lactose or lactulose ,British Journal of Nutrition ,70:747-756
- ❖ HEREMAN, S. (1868). Paxton's Botanical Dictionary, Bradbury. Evans & Co., London.

- ❖ Hipsley EH. 1953. «Fibres» alimentaires et toxémie gravidique . F. Med J 2: 420-422. [Article PMC gratuit] [PubMed]
- ❖ HO T.N.T., TUAN N., DESCHAMPS A. and CAUBET R., (2007). Isolation and identification of lactic acid bacteria (LAB) of the Nem Chua fermented meat product of Vietnam. *Int. Workshop on Food Safety and Processing Technology*. 134-142.
- ❖ HOLT G.J., KRIEG N.R. SNEATH P.H.A., STALEY J.T. and WILLIAMS S.T., (1994). Gram positive cocci. In Bergey's manual of determinative bacteriology (9th ed., pp. 527). Baltimore :*Williams & Wilkins*.
- ❖ HUANG, H. C. & STAUFFER, M. D. (1979). Sclerotinia wilt in Jerusalem artichoke, Agriculture Canada Canadex, 164-630.
- ❖ HUGENHOLT J. (REV 1993) Citrate metabolism in lactic acid bacteria. *FEMS microbiol*; 12;165-78

I

- ❖ Institut Européen de Diététique et Micronutrition.(2017), Prise en charge nutritionnelle des hyperperméabilités intestinales [En ligne]. [cité 11 août 2017].

J

- ❖ J. Traynor, R. Mactier, C. Geddes et J. Fox,(2006) « How to measure renal function in clinical practice », *BMJ*, vol. 333,p. 733-737.
- ❖ JEAN-CHRISTOPHE BOCLE & CAROLE THOMANN (2005). Effects of probiotics and prebiotics on flora and immunity in adults. Agence française de sécurité sanitaire des aliments. p 9.
- ❖ Jones Julie Miller. (2014). Codex-aligned dietary fiber definitions help to bridge the fiber gaps. *Nutrition journal*; 13: 34-34
- ❖ Joseleau J.P. (1980): Les hémicelluloses. In : Les polymères végétaux. B. Monties. Ed. Gauthier-Villars, 87-121.
- ❖ JOSEPH POUSSET. Nouvelle édition (2010). Culture biologique du topinambour. Document Biodoc n° 22 p. 2-3-5-6.
- ❖ JUILLARD V, FOUCAUD C, DESMAZEAUD M, RICHARD J. (Rev 1993). Utilisation des sources d'azote du lait par *Lactococcus lactis*. *Le Lait* 1996; 76: 13-24. 13.

K

- ❖ K. KHUENPET et AL. (2016). inulin powder production from jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus* l.) tuber powder and its application to commercial food products. Institute of Nutrition, Mahidol University at Salaya, Nakhon Pathom, Thailand Journal of Food Processing and Preservation ISSN 1745-4549.
- ❖ KAPLAN H, HUTKINS RW. (2000) Fermentation of fructooligosaccharides by lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Zppl Environ Microbiol* 66:2682-2684.
- ❖ Kärkäs, M. D., Matsuura, B. S., Monos, T. M., Magallanes, G., & Stephenson, C. R. (2016). Transition-metalcatalyzed valorization of lignin: the key to a sustainable carbon-neutral future. *Organic&Biomolecular Chemistry*, 14(6), 1853-1914.
- ❖ Kathleen M., M.S. (1996): Dietary Fiber (A Report by the American Council on Science and Health (ACSH)).
- ❖ KAYS, S.L. AND SILVA DIAS. J.C (1996). Cultivated Vegetables of the World: Latin Binomial, Comnton Naine in 5 Languages, Edible Part. and Mellwd of Preparation, Exon Press, Athens, GA.
- ❖ Kim, H.S., Lee, D.W., Ryu, E.J., Uhm, T.B., Yang, M.S., Kim, J.B. et Chae, K.S.(1999). Expression of the INU2 gene for an endoinulinase of *Aspergillus ficuum* in *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnol Lett.* 21: 621–623
- ❖ KLAENHAMMER T.R., (1988). Bacteriocins of lactic acid bacteria. *Biochimie*, 70, 337-349.
- ❖ KLAENHAMMER T.R., (1993). Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria. *FEMS Microbiol. Rev.*, 12(1-3), 39-85.
- ❖ KLAENHAMMER T.R., BARRANGOU R., LOGAN BUCK B. & AZCARATE-PERIL M.A., (2005). Genomic features of lactic acid bacteria effecting bioprocessing and health. *FEMS Microbiol. Rev.*, 29, 393-409.
- ❖ KLAENHAMMER TR. (Rev 1993) Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria. *FEMS Micro-biol*; 12: 39-86.
- ❖ Kolida S., Tuohy K. et Gibson G.R. 2000. The human gut flora in nutrition and approaches for its dietary modulation. *British Nutrition Bulletin*. Pp : 223 – 231.

L

- ❖ LACAITA, C.C. (1919), The 'Jerusalem artichoke,' *Bull. Miscell. Infant.* (Kew Royal Gardens), 321-339.

- ❖ Laffargue C. 2015. Intérêt des probiotiques dans la prévention de pathologies et conseils en officine. Thèse doctorat en Pharmacie. Université Toulouse III Paul Sabatier. Faculté des sciences Pharmaceutiques. 119P.
- ❖ Lairon D, Arnault N, Bertrais S et al. (2005). Dietary fiber intake and risk factors for cardiovascular disease in French adults. *Am J Clin Nutr*, 82 : 1185-1194
- ❖ Lairon D, Barry JL (1993). Dietary fibre intake in France. In: Cummings JH Dietary fiber intake in Europe, COST 92 Action. Printing Office, Brussels, 49-52.
- ❖ Lattimer James M., Haub Mark D. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*; 2(12): 1266-1289.
- ❖ Laurenberg.P. 1632. *Apparatus plantarius* 168 p., illus. francforti.
- ❖ LENOIR J. LAMBERT G et SCHMIODT J.L., 1983. L'élaboration d'un fromage l'exemple du Camembert. *Pour la Science*, 69, 30-42.
- ❖ LESCARBOT.M. (1609) Histoire de la Nouvelle France : contenant les navigations, decouvertes, & habitations faites par les François es Indes Occidentales & Nouvelle France ..., Paris.
- ❖ LEVEAU J.Y. et BOUIX M., (1993). Microbiologie industrielle : les microorganismes d'intérêt industriel. *Tec & Doc, Lavoisier*. Paris. 85-87.
- ❖ LSRO (Bureau de recherche en sciences de la vie). 1987. Effets physiologiques et conséquences sur la santé des fibres alimentaires. Bethesda, MD: LSRO.
- ❖ LUKENS, T. (1981). A review of the potential for Jerusalem artichokes as feedstock for the production of ethyl alcohol. *Fuelcrops* (a division of Brown Bulb Ranch of Washington Inc.), North Seattle, Washington.

M

- ❖ Makhloufi.K. M. (2012) Caractérisation d'une bactériocine produite par une bactérie lactique *Leuconostoc pseudomesenteroides* isolée du boza. Thèse de doctorat de l'université pierre et marie curie. Spécialité : microbiologie, biochimie (école doctorale iviv).
- ❖ Marcel B. Roberfroid, Véronique Coxam, Nathalie Delzenne, (2008) *Aliments fonctionnels*, 2^e édition Tec&doc,
- ❖ Martin L. 2009. Probiotiques, prébiotiques, symbiotiques et « métabiotiques » ce qu'il faut savoir. Thèse de Doctorat d'immunologie, Université de Tours. Équipe «Cellules Dendritiques, Immunomodulation et Greffes». INSERM

- ❖ MC. AULIFFE O. & HILL C., (2001). Lantibiotics: structure, biosynthesis and mode of action. *FEMS Microbiol. Rev.*, 25, 285-308.
- ❖ McCance RA, Lawrence RD. 1929. La teneur en glucides des aliments . Londres: HMSO.
- ❖ MEGHACHOU.M (2014), approche méthodologique a la modélisation par les plans d'expérience pour l'élaboration d'un yaourt : Ecosystemes microbiens complexes.
- ❖ MEUNISSIER A. Les différentes variétés de Topinambour. R.B.A., II, 192-2, p. 135-140.
- ❖ MEZIANE.D (1991). Histoire de a pomme de terre, Detitique n° 25.
- ❖ MICHEL DESMAZEAUD. 1996; Les bacteries lactiques dans l'alimentation humaine : utilisation et innocuité ; cahier acriculture ; 5 :331-43 p 334.
- ❖ MIETTON B, DESMAZEAUD M, DE ROISSART H, WEBER F. 1994.Transformation du lait en fromage. In : de Roissart H, Luquet FM, eds. Bacteries lactiques. Aspects fondamenta ID (et technolo-giques. Uriage: Lorica: 55-133.
- ❖ Miller, H. E., Rigelhof, F., Marquart, L., Prakash, A., & Kanter, M. (2000). Whole-grain products and antioxidants. *Cereal Foods World*, 45(2), 59-63.
- ❖ Mirande C. (2009): Thèse doctorat (Dégradation des fibres pariétales et système xylanolytique de *Bacteroidesxylanisolvens* XB1AT et *Roseburiaintestinalis* XB6B4, espèces bactériennes du microbiote intestinal humain), Unité de Microbiologie (UR 454),Centre de Recherche INRA de Clermont-Ferrand/Theix, 18 décembre
- ❖ Mizota T (1996). Lactulose as a growth promoting factor for bifidobacterium and its physiological aspect , Bulletin of the international Dairy Federation ,313 : 43-48
- ❖ MONTEL MC, TALON R, CANTONNET M, BERDA-GUE JL. (1992) Activités métaboliques des bactéries lactiques des produits carries. In : Les bactéries lactiques. Recherche et applications industrielles en agro-alimentaire. Colloque ADRIA-Normandie Université de Caen. Caen : Centre de Publications de l'université de Caen ed: 177-88.
- ❖ Montgomery E Hudson CS (1929). Transformation of lactose to a new disaccharide,lactoketose ,science,69,556-557
- ❖ Moreau M-C. Effets des probiotiques sur l'immunité intestinale. Objectif Nutrition. 2002;(65):2-9.
- ❖ Moro G., MinoliI. etMosca M. 2002. Dosage-related bifidogenic effects of galactoandfructooligosaccharides in formula-fed term infants JPGN; 34: 291–295
- ❖ Morrow A.L., Ruiz-Palacios G.M. et Altaye M. 2004. Human milk oligosaccharides are associated with protection against diarrhea in breast-fed infants. Journal de Pediatrie. 145: 297–303

- ❖ Mosera M., Sentko A. et Alexiou H. 2014. Inulin and Health Benefits. Polysaccharides. Springer International Publishing Switzerland.

N

- ❖ Nagem, R.A.P., Rojas, A.L., Golubev, A.M., Korneeva, O.S., Enyaskaya, E.V., Kulminskaya, A.A., Neustroev, K.N. et Polikarpov, I. (2004). Crystal structure of exo-inulinase from *Aspergillus awamori*: the enzyme fold and structural determinants of substrate recognition. *J Mol Biol.* 344: 471-480
- ❖ NIGUTOVA K. ET AL., (2007). Production of enterolysin A by rumen *Enterococcus faecalis* strain and occurrence of enlA homologues among ruminal Gram+ cocci. *J. Appl. Microbiol.*, 102(2), 563-569.
- ❖ NILSEN T., NES I.F. & HOLO H., (2003). Enterolysin A, a cell wall-degrading bacteriocin from *Enterococcus faecalis* LMG2333. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69(5), 2975-2984.
- ❖ Nobre C., Teixeira J.A et Rodrigues L.R. 2012. Fructo-oligosaccharides purification from a fermentative broth using an activated charcoal column. *New Biotechnology.* 29 : 3
- ❖ Nouvelle-Zélande. 1984. Règlement de 1984 sur les aliments. Wellington, Nouvelle-Zélande: Imprimeur du gouvernement.

O

- ❖ Oligosaccharides: A consensus report from the ENDO project (DGX II AIR II – CT94-1095). *British Journal of Nutrition* ,81:121-132
- ❖ Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine, Rome, 1995
- ❖ Orthen, B. et Wehrmeyer, A. (2004). Dynamics of non-structural carbohydrates in bulbs and shoots of the geophytes. *Galanthus nivalis* *Physiol Plant.* 120 (4): 529-536.
- ❖ O'sullivan, A. C. (1997). Cellulose: the structure slowly unravels. *Cellulose*, 4(3), 173-207.
- ❖ Özaslan C, Türkçapar AG, Kesenci M et al. (1997). Effect of lactulose on bacterial translocation. *European Journal of Surgery*, 163 : 463-467.

P

- ❖ PAPAGIANNI M., (2003). Ribosomally synthesized peptides with antimicrobial properties: biosynthesis, structure, function and applications. *Biotechnol. Adv.*, 21(6), 465-499.

- ❖ PARTICLEBOARDS PETR KLIMEK, PETER MEINLSCHMIDT, RUPERT WIMMER, BURKHARD PLINKE, ARNE SCHIRP. (2016). Using sunflower (*Helianthus annuus* L.), topinambour (*Helianthus tuberosus* L.) and cup-plant (*Silphium perfoliatum* L.) stalks as alternative raw materials for particleboards.
- ❖ PASQUIER, C. & DEVALBRAY, J. (1981). The Jerusalem artichoke, an alcoholigenic plant and fuel alcohol. CNEEMA Information Bulletin, Dossier of the Month. Ecole Supérieure de Formation Agricole de Angers, France.
- ❖ PAUPARDIN, C. (1965). Phenolic acids in the tubercle of *Helianthus tuberosus* var. Violet de rennes cultivated *in vitro*. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, Serie D*, 261, 4206.
- ❖ PIARD JC, DESMAZEAUD M. (1991) Inhibiting factors produced by lactic acid bacteria. I. Oxygen metabolites and catabolism end-products. *Le Lait* ; 71 : 525-41.
- ❖ PIARD JC, DESMAZEAUD M. (1992) Inhibiting factors produced by lactic acid bacteria. Bacteriocins and other antibacterial substances. *Le Lait*; 72: 113-42.
- ❖ PILNIK, W. & VERVELDE, G. J. (1976). Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a source of fructose, a natural alternative sweetener. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau*, 142, 153.
- ❖ Ponz de Leon M, Roncucci L (1997). Chemo-prevention of colorectal tumours: Role of lactulose and of other agents. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 32 (suppl. 222) : 72-75.
- ❖ Praznik W., Loeppert R., Viernstein H., Haslberger A.G. et Unger F.M. 2014. Dietary Fiber and Prebiotics. Polysaccharides. Springer International Publishing Switzerland.
- ❖ PRESCOTT et al (2003). Microbiologie. 2^{ème} Edition française. Traduction de la 5^{ème} Edition américaine par Claire-Michelle-Bacq-Calberg et Jean Dussart. Edition de Boeck.
- ❖ Prosky L (1999). Inulin and oligofructose are part of the dietary fiber complex. *Journal of AOAC international*, 82 (2): 223-226

R

- ❖ R.S. SINGH and R.P. SINGH, (2010) Fructooligosaccharides from Inulin as Prebiotics, *Food Technol. Biotechnol.* 48 (4) 435–450
- ❖ RASHCHENKO, I. N. (1957). Changes in the chemical constitution of the tubers of the Jerusalem artichoke in the process of sprouting. *Referativnyi Zhurnal Khimii Biologicheskaya Khimiya*, no. 5035.

- ❖ RICHARD C. et al., (2006). Evidence on correlation between number of disulfide bridge and toxicity of class II bacteriocins. *Food Microbiol.*,23(2), 175-183.
- ❖ Ritsema, T. et Smeeckens, S. (2003). Fructans: beneficial for plants and humans. *Curr Opin Plant Biol.* 6: 223-230.
- ❖ Roberfroid M. Prébiotiques, probiotiques, synbiotiques et inflammation intestinale. *Objectif Nutrition.* 2007;(85):3-12.
- ❖ ROBINSON, H. (1981). A revision of the tribal and subtribal limits of the Heliantheae (Asteraceae), *Smithsonian Contrite. Bot. SI*, 1-102.
- ❖ Rousseau V. 2004. Evaluation d'oligosaccharides a effet prébiotique vis-à-vis de la microflore vaginale. Thèse de Doctorat. Microbiologie et Biocatalyse Industrielle. L'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. 186p.
- ❖ ROUTIEY, D. G. (1977). Jerusalem artichoke- The versatile but unloved vegetable. *American Horticulturist*, 56, 12.
- ❖ Rycroft C.E., Jones M.R., Gibson G.R. et Rastall R.A. 2001. A comparative in vitro evaluation of the fermentation properties of prebiotic oligosaccharides. *Journal of Applied Microbiology.* 91:878–87.

S

- ❖ SACHS, R. M., LOW, C. B., VASAVADA, A., SULLY, M. J., WILLIAMS, L. A. & ZIOBRO, G. C. (1981). Fuel alcohol from Jerusalem artichoke. *Calif. Agric.*, 35, 4.
- ❖ Sasaki M., Ogasawara N., Funaki Y., Mizuno M., Iida A., Goto C., Koikeda S., Kasugai K. et Joh T. 2013. Transglucosidase improves the gut microbiota profile of type 2 diabetes mellitus patients; a randomized double-blind, placebo-controlled study. *BMC Gastroenterology.* 13:81
- ❖ Schmelzle H., Wirth S. et Skopnik H. 2003. Randomized Double-blind study of the nutritional efficacy and bifidogenicity of a new infant formula containing partially hydrolyzed protein, a high-palmitic acid level, and non digestable oligosaccharides. *JPGN.* 36: 343–51
- ❖ SCHRIBAU. (1917). Une plante q'on ne saurait assez propager en temps de 1816. *BESCHREIBUNG DER LANDWIRTSCHAFT in NEIDER ALSASS.* Berlin.
- ❖ SEYER M.-E. « Les fibres alimentaires et le pain de blé entier ». In : Univ. Laval Collect. Mém. Thèses Électroniques [En ligne]. [s.l.] : [s.n.], 2005. Disponible sur : < <http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/23027/ch02.html#N1024D> > (consulté le 24 septembre 2015)

- ❖ Shiomi, N. (1989). Properties of fructosyltransferases involved in the synthesis of fructan in Liliaceous plants. *J Plant Physiol.* 134: 151-155
- ❖ Shiomi, N., Benkeblia, N., Onodera, S. et Kawazoe, N. (2006). Fructooligosaccharides changes during maturation in inflorescences and seeds of onion (*Allium cepa* L W202). *Can J Plant Sci.* 86: 269-278.
- ❖ Soualem.Mami Z., Brix-Gormat N., Djaziri F.Z., Hmimed S., Belarbi M. (2015). Effet du sang de seigle chez le rat diabétique. *Phytothérapie*; 13(4): 223-230
- ❖ STANLEY J. KAYS, STEPHEN F. NOTTINGHAM. (2007) *Biology and Chemistry of Jerusalem Artichoke: Helianthus tuberosus L.*
- ❖ STAUFFER, M. D., CHUBEY, B. B. & DORRELL, D. G. (1975). Jerusalem artichoke. *Agriculture Canada Report No. 164, Canadex Field Crops.*
- ❖ STAUFFER, M. D., CHUBEY, B. B. & DORRELL, D. G. (1981). Growth, yield and compositional characteristics of Jerusalem artichoke as they relate to biomass production. In: *Fuels from Biomass and Wastes*. D. L. Klass & G. H. Emert, eds. Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Michigan, p. 79.
- ❖ St-Gelais, Tirard-Coller, Bélanger, Couture et Drapeau, (2002). Fromage. In : *Science et technologie du lait : transformation du lait* (Vignola C.L.). Presses. Int. Polytechnique
- ❖ STILES, M. E., et W. H. HOLZAPFEL. (1997). Lactic acid bacteria of foods and their current taxonomy. *Int J Foodmicrobiol.* 36 (1): 1-29.

T

- ❖ TALARICO TL, CASAS IA, CHUNG TC, DOBROGOSZ WJ. (1988) Production and isolation of reuterin, a growth inhibitor produced by *Lactobacillus reuteri*. *Antimicrob Agents Chemother*; 32: 1854-8.
- ❖ Tambara Y., Hormaza J.V., Perez C., Leon A., Arrieta J. et Hernandez L. 1999. Structural analysis and optimised production of fructo oligosaccharides by levansucrase from *Acetobacter diazotrophicus* SRT4. *Biotechnology Letters*. 21: 117– 121.
- ❖ TAMIME A.Y. et ROBINSON R.K (1985). Background to manufacturing practice. In *Yoghurt. Science and technology*. Pp. 7-90. Ed. Tamime, A.Y. et Robinson, R.K., Pergamon press, Paris.
- ❖ Tanaka R., Takayama H., Morotomi M., Kuroshima T., Ueyama S. et Matsumoto K. 1983. Effects of administration of TOS and *Bifidobacterium breve* 4006 on the human faecal flora. *BifMicroflora*. 2, pp: 17-24

- ❖ Tapio Salmi, Pia Damlin, Jyri-Pekka Mikkola, Matias Kangas. (2011). Modelling and experimental verification of cellulose substitution kinetics. *Chemical engineering science*; 66(2) : 171-182.
- ❖ THOMAS TD, PRITCHARD GG. (Rev 1987). Proteolytic enzymes of dairy starter cultures. *FEMS Micro-biol*; 46 : 245-68.
- ❖ THOMPSON J, GENTRY-WEEKS CR. (1994). Métabolisme des sucres par les bactéries lactiques. In : de Roissart H, Luquet FM, eds. *Bactéries lactiques. Aspects fondamentaux et technologiques*. Uria-ge :Lorica: 239-90.
- ❖ THOMPSON J. (Rev 1987) Regulation of sugar transport and metabolism in lactic acid bacteria. *FEMS Microbiol*; 46: 221-31.
- ❖ THOMPSON J., GENTRY-WEEKS C.R. (1994) Métabolisme des sucres par les bactéries lactiques. Dans : *Bactéries lactiques*, Vol. I, p 239-290 (Editeurs : De Roissart H., Luquet.
- ❖ TRAUB, H. P., THOR, C. J., WILLAMAN, J. J. & OLIVER, R. (1929). Storage of truck crops: The girasole, *Helianthus tuberosus*. *Plant Physiol.*, 4, 123.
- ❖ TRICHARD Marie, INTERETS, USAGES ET CONSEILS A L'OFFICINE DES PREBIOTIQUES, PROBIOTIQUES ET SYMBIOTIQUES DANS LA MALADIE DE CROHN, 2018
- ❖ TWOMEY D., RYAN M., MEANEY B. & HILL C., (2002). Lantibiotics produced by lactic acid bacteria: structure, function and applications. *Antonie van Leeuwenhoek*, 82, 165-185.

V

- ❖ Van den Heuvel EGHM, Muys T, van Dokkum W, Schaafsma G (1999b). Lactulose stimulates calcium absorption in postmenopausal Women. *Journal of bone and Mineral Research*, 14:1211-1216.
- ❖ Van Laere, A. et Van den Ende, W. (2002). Inulin metabolism in dicots: chicory as a model system. *Plant Cell Environ.* 25:803-813.
- ❖ Van Loo J (2005) .prebiotics: a nutritional concept gaining momentum in modern nutrition. *Food Science and technology bulletin: Functional Foods*, 2 (8):83-100.
- ❖ Van Loo J, Cummings J ,Delzenne N et al .(1999).functional food properties of non-digestible
- ❖ VANDAMME P., POT B., GILLIS M., DEVOS P., KERESTERS K. and SWWINGS J., (1996). Polyphasic taxonomy, a consensus approach to bacterial systematic. *Microbiol. Rev.* 60:407.

- ❖ Vandamme, E. J. et Derycke, D. G. (1983). Microbialinulinases - Fermentation process, properties, and applications. *AdvanApplMicrobiol.* 29: 139-176.
- ❖ VANDENBERGH PA. (Rev 1993). Lactic acid bacteria, their metabolic products and interference with micro-bial growth. *FEMS Microbiol*; 12: 221-38.

W

- ❖ Wang J. 2009. Structure and chain conformation of five water-soluble derivatives of a β -D-glucan isolated from *Ganoderma lucidum*. *Carbohydrate Research.* 344: 105– 112.
- ❖ Wang X., Brown I.L., Khaled D., Mahoney M.C., Evans A.J. et Conway P.L., 2002. Manipulation of colonic bacteria and volatile fatty acid production by dietary high amylosemaize (amylomaize) starch granules. *Journal of AppliedMicrobiology.* 93: 390-397.
- ❖ Waterhouse and N.J. Chatterton, Glossary of Fructan Terms, in M. Suzuki and N.J. Chatterton (Eds.), *Science and Technology of Fructans*, CRC Press, Boca Raton, 1-3, 1993.
- ❖ WGO. 2011. Probiotiques et Prébiotiques. World Gastroenterology Organisation Global Guidelines.
- ❖ Wilson, R.G., Martin, A.R etKachman, S.D. (2006). Seasonal changes in carbohydrates in the root of Canada thistle (*Cirsium arvense*) and the disruption of these changes by herbicides. *Weedtechnol.* 20: 242-248.
- ❖ Won Yun J. 1996. Fructo-oligosaccharides occurrence, preparation and application. *Enzyme and MicrobialTechnology.* Elsevier Science. 19: 107- 117.
- ❖ World Gastroenterology Organisation Global Guidelines. Probiotiques et Prébiotiques [En ligne]. 2011 [cité 26 oct 2017].

Z

- ❖ ZUANG H. (1991). Handbook on new vegetablespecies, Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, Paris (France).

Site Web:

- ❖ Web master 01: consulter le (20/02/2020). On ligne:
<https://productions-animales.org/article/view/2561>
- ❖ Web master 02: consulter le (13/03/2020). On ligne
https://www.biendecheznous.be/sites/default/files/styles/image_on_detailpage/public/ps_image/istock_aardpeer.jpg?itok=yy8gmDXi.

- ❖ Web master 03: consulter le (22/03/2020). On ligne:
<https://booksofdante.files.wordpress.com/2018/03/topinambour.jpg?w=440&h=440>
- ❖ Web master 04: consulter le (22/03/2020). On ligne:
<http://www1.biologie.uni-hamburg.de/b-online/schaugarten/HelianthustuberosusL/HelianthustuberosusL.gif>
- ❖ Web master 05: consulter le (27/03/2020). On ligne:
<http://www.aprifel.com/fiche-nutri-produit-composition-topinambour,82.html>
- ❖ Web master 06: consulter le (20/04/2020). On ligne:
<https://www.groww.fr/fr/plants/topinambour#:~:text=R%C3%A9colter%20mes%20topinambours,tubercule%20arrach%C3%A9%20craint%20le%20gel.>
- ❖ Web master 07: consulter le (24/04/2020). On ligne:
<http://www.oocities.com/cheezyfr/photos/Leuconostoc.jpg>
- ❖ Web master 08: consulter le (18/06/2020). On ligne:
<https://www.mysticalbiotech.com/wp-content/uploads/2016/07/lactobacteri-helveticus.jpg>
- ❖ Web master 09: consulter le (18/06/2020). On ligne:
<https://www.camembertdurand.fr/fromagerie/16-histoire-du-camembert>
- ❖ Web master 10: consulter le (20/06/2020). On ligne:
https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.quiveutdufromage.com%2Fhf-tous-les-fromages-tous-types-de-pates_181&psig=AOvVaw1EthGqJwJmh-aLH4zyICu4&ust=1599685151477000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjhxqFwoTCKjysam62usCFQAAAAAdAAAAABAD
- ❖ Web master 11: consulter le (25/06/2020). On ligne:
<https://www.lanutrition.fr/camembert>
- ❖ Web master 12: consulter le (26/06/2020). On ligne:
<http://www.mavallee.com/fabrication-fromage.aspx>
- ❖ Web master 13: consulter le (06/08/2020) On ligne:
www.reverdy.fr/fr/articles/posts/fibres
- ❖ Web master 14: consulter le (10/08/2020). On ligne:
https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-sante-du-quotidien/2586986-topinambour-bienfaits-sante-valeur-nutritionnelle/?fbclid=IwAR2Mgq_SiwoT-WPyODw1jU45_NUEVUHUYLzNfyTdI1O1P1QkZlp2uihTYvQ
- ❖ Web master 15: consulter le (14/08/2020). On ligne:

https://www.hopitalduvalais.ch/fileadmin/files/disciplines/pediatric/fr/20160930_Info_Patient_Sante_la_fibre_DEF.pdf

❖ Web master 16: consulter le (26/08/2020). On ligne:

<https://www.vitalhealthoptions.com/A-Galacto.pdf>

❖ Web master 17: consulter le (26/08/2020). On ligne:

<https://agronomie.info/fr/inuline/>

❖ web master 18 : consulter le , (27/08/2020) on ligne

<https://www.lespagesmaghreb.com/annuaire/sidi-bel-abbes/production-de-laits-et-produits-laitiers-laiterie/orolait/8ce86a0a30cbc4c2af19ba4d2df98dcab8fdb975>