

Faculté de Pharmacie

Année 2023

Thèse N°

Thèse pour le diplôme d'État de docteur en Pharmacie

Présentée et soutenue publiquement

le 26 mai 2023

Par

Anaïs LASSERRE

Né(e) le 27 Août 1997 à Saint Gaudens

Les effets du pain sur la santé

Thèse dirigée par LABROUSSE Pascal

Examineurs :

M^r Nicolas PICARD, Professeur des Universités Président

M^r Pascal LABROUSSE, Maître de conférence des Universités..... Juge

M^r Guillaume CHEMIN, Maître de conférence des Universités..... Juge

M^{me} Marie-Émilie PAPEL-ANDRIEUX, Docteur en pharmacie..... Juge



Faculté de Pharmacie

Année 2023

Thèse N°

Thèse pour le diplôme d'État de docteur en Pharmacie

Présentée et soutenue publiquement

le 26 mai 2023

Par Anaïs LASSERRE

Né(e) le 27 Août 1997 à Saint Gaudens

Les effets du pain sur la santé

Thèse dirigée par LABROUSSE Pascal

Examineurs :

M^r Nicolas PICARD, Professeur des Universités Président

M^r Pascal LABROUSSE, Maître de conférence des Universités.....Juge

M^r Guillaume CHEMIN, Maître de conférence des Universités..... Juge

M^{me} Marie-Émilie PAPEL-ANDRIEUX, Docteur en pharmacie..... Juge



Liste des enseignants

Le 1^{er} septembre 2021

Doyen de la Faculté

Monsieur le Professeur COURTIOUX Bertrand

Vice-doyen de la Faculté

Monsieur LÉGER David, Maître de conférences

Assesseurs de la Faculté

Monsieur le Professeur BATTU Serge

Monsieur le Professeur PICARD Nicolas

Professeurs des Universités – Hospitalo-Universitaires

M. PICARD Nicolas	Pharmacologie
Mme ROGEZ Sylvie	Microbiologie, parasitologie, immunologie et hématologie
M. SAINT-MARCOUX Franck	Toxicologie

Professeurs des Universités – Universitaires

M. BATTU Serge	Chimie analytique et bromatologie
M. CARDOT Philippe	Chimie analytique et bromatologie
M. COURTIOUX Bertrand	Microbiologie, parasitologie, immunologie et hématologie
M. DESMOULIERE Alexis	Physiologie
M. DUROUX Jean-Luc	Biophysique et mathématiques
Mme FAGNÈRE Catherine	Chimie organique, thérapeutique et pharmacie clinique
M. LIAGRE Bertrand	Biochimie et biologie moléculaire
Mme MAMBU Lengo	Pharmacognosie
M. TROUILLAS Patrick	Biophysique et mathématiques

Mme VIANA Marylène Pharmacie galénique

Maitres de Conférences des Universités – Hospitalo-Universitaires

M. BARRAUD Olivier (*) Microbiologie, parasitologie, immunologie et
hématologie

Mme. CHAUZEIX Jasmine Microbiologie, parasitologie, immunologie et
hématologie

M. JOST Jérémie Chimie organique, thérapeutique et pharmacie
clinique

Maitres de Conférences des Universités – Universitaires

M. BASLY Jean-Philippe (*) Chimie analytique et bromatologie

Mme BEAUBRUN-GIRY Karine Pharmacie galénique

Mme BÉGAUD Gaëlle Chimie analytique et bromatologie

M. BILLET Fabrice Physiologie

M. CALLISTE Claude Biophysique et mathématiques

M. CHEMIN Guillaume Biochimie et biologie moléculaire

Mme CLÉDAT Dominique Chimie analytique et bromatologie

M. COMBY Francis Chimie organique, thérapeutique et pharmacie
clinique

Mme COOK-MOREAU Jeanne Microbiologie, parasitologie, immunologie et
hématologie

Mme DELEBASSÉE Sylvie Microbiologie, parasitologie, immunologie et
hématologie

Mme DEMIOT Claire-Elise (*) Pharmacologie

M. FABRE Gabin Biophysique et mathématiques

M. FROISSARD Didier Botanique et cryptogamie

Mme JAMBUT Anne-Catherine (*) Chimie organique, thérapeutique et pharmacie
clinique

M. LABROUSSE Pascal (*) Botanique et cryptogamie

Mme LAVERDET Betty Pharmacie galénique

M. LAWSON Roland	Pharmacologie
M. LÉGER David	Biochimie et biologie moléculaire
Mme MARRE-FOURNIER Françoise	Biochimie et biologie moléculaire
M. MERCIER Aurélien	Microbiologie, parasitologie, immunologie et hématologie
Mme MILLOT Marion (*)	Pharmacognosie
Mme PASCAUD-MATHIEU Patricia	Pharmacie galénique
Mme POUGET Christelle (*)	Chimie organique, thérapeutique et pharmacie clinique
M. TOUBLET François-Xavier	Chimie organique, thérapeutique et pharmacie clinique
M. VIGNOLES Philippe (*)	Biophysique et mathématiques

(*) Titulaire de l'Habilitation à Diriger des Recherches (HDR)

Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche

Mme AUDITEAU Émilie Épidémiologie, statistique, santé publique

Enseignants d'anglais

M. HEGARTY Andrew Chargé de cours

Mme VERCELLIN Karen Professeur certifié

Remerciements

À mon jury,

À Monsieur Labrousse, Maître de conférence de la faculté de Limoges

Merci d'avoir accepté de diriger ma thèse. Encore un grand merci pour le temps, vos conseils, vos corrections et vos relectures. Merci d'avoir eu confiance en moi et d'avoir toujours été à mon écoute.

À Monsieur Picard, Maître de conférence de la faculté de Limoges

Merci de me faire honneur de présider ce jury de thèse. Merci pour le temps que vous avez passé à lire mon travail. Je vous remercie pour la qualité de vos enseignements, pour les nombreuses connaissances que vous avez su me transmettre, et pour les conseils et le soutien que vous avez toujours eu pendant mes études.

À Monsieur Chemin, Maître de conférence de la faculté de Limoges

Merci d'avoir accepté de venir juger ce travail. Je vous adresse mes plus sincères remerciements.

À Marie-Émilie Papel Andrieux, Docteur en pharmacie

Mille merci d'avoir accepté de faire parti de mon jury, c'était une évidence de clôturer mes études en votre présence. J'ai tout appris dans votre pharmacie, j'ai passé de très bons moments. Merci de m'avoir si bien accueillis lors de tous mes stages. Merci pour les conseils, votre écoute et la bonne humeur qui règne dans cette pharmacie. Merci pour tout, vraiment.

Merci à tous les pharmaciens qui ont eu confiance en moi et qui m'ont accueillie avec bienveillance au sein de leur officine.

Merci à toute l'équipe de la **pharmacie Druelle**, Madame Savary Audrey et Lucile. Vous m'avez accueillie les étés, j'ai appris beaucoup de chose grâce à vous deux, encore merci.

Merci à toute l'équipe de la **pharmacie du Tilleul**, Madame Papel, Sarah, Virginie, Muriel, Amélie. Vous m'avez accueillie les bras ouverts lors de mes stages de troisième année, quatrième année et mon stage de sixième année. J'ai tout appris grâce à vous et c'est toujours un grand plaisir de venir faire des remplacements avec vous.

Merci à toute l'équipe de la **pharmacie Boyer**, Monsieur Boyer, Sabrina, Isabelle et Valérie. Vous avez su me faire confiance en étant pendant six mois une pharmacienne assistante. J'ai adoré travailler avec vous tous, toujours dans la bonne humeur et la bienveillance.

À ma famille,

À ma maman, ma petite maman d'amour je ne sais pas par où commencer tellement je te dois tout. Dès mes premiers jours de vie tu savais que j'allais être une battante. Tu m'as toujours soutenue même dans les moments les plus difficiles. Je t'avoue que dès que j'ai quitté la maison en août 2015, à l'aube de mes 18 ans, je ne savais pas si j'allais y arriver sans toi, ni papa, ni flocon. Ça a été très difficile de me séparer de vous mais je savais que c'était pour mon avenir. Je ne comptais plus les soirs où j'ai pleuré en me disant que j'avais fait le mauvais choix de partir. Je ne comptais plus les appels vidéo, en face time, à l'heure du déjeuner, puis du goûter et pour finir du repas. Je ne comptais plus tous les kilomètres que vous avez parcourus tous les week-end de chaque semaine pour venir me motiver et me reconforter. Je me souviendrai toujours du tableau que tu m'avais fait « tout ce qui ne tue pas rend plus fort », cette phrase est si importante pour moi. Aujourd'hui, je sais que tu es fière de moi mais aussi de la jeune femme que je deviens. Merci maman d'amour, je t'aime par dessus les étoiles et au delà de l'univers

À mon papa, mon très cher papa, mon héros. Tu sais l'estime que j'ai pour toi. Si je suis là aujourd'hui, c'est en partie grâce à toi. Tu as toujours su me pousser vers le haut, tu as toujours eu confiance en moi et tu savais que j'allais réussir... Et pourtant à chaque fois que je sortais de partiels je te disais « cette année c'est sur j'ai des rattrapages »...

Cette détermination que j'ai de réussir et de ne rien lâcher me vient de toi. Pour moi, tu es un papa parfait (même si je me souviendrai toujours de cette scène pour la langue de bœuf). Je voulais aussi te remercier pour l'éducation que tu m'as donnée, s'en doute la plus belle. Tu ne pouvais faire mieux. Grâce à toi, je suis une femme cultivée (mais moins que toi), gentille, polie, respectueuse et respectée. Il est vrai que pour moi c'est plus difficile de montrer l'amour que j'ai pour toi. Mais oui, je vais te le dire : Papa, je t'aime.

Jamais je ne pourrais vous remercier pour tout ce que vous avez fait pour moi. Une vie entière ne suffirait pas pour que je vous remercie.

À flocon, et oui mon petit chien mais qui est pour moi un frère que je n'ai jamais eu. Je me suis confiée à lui durant tant d'années. Il a toujours été là pour me remonter le moral, à me lécher le visage quand je pleurais, à dormir dans mes bras quand je n'allais pas bien. Je t'aime mon petit bébénou.

À mon chéri, mon futur mari, depuis que tu es entré dans ma vie le 14 avril 2015, je savais que c'était toi ma destinée. Une année 2015 qui en août nous a fait nous éloigner de 250km et pourtant tu es resté à mes côtés. Tu venais me voir toutes les deux semaines, tu arrivais le mardi midi et repartais le mercredi soir, tant de kilomètres parcourus pour moi... je ne pourrai jamais te remercier pour tout le soutien, les fous rires que tu me procurais.. En 2018, tu es venu vivre avec moi à Limoges. Ah la vie étudiante c'est quelque chose.... Les jeudis

soir avec les copains chez Michard. Mais aussi les heures de révisions... Merci de m'avoir fait réciter même si tu ne m'écoutais jamais.

Mille mercis pour tout, pour les soirs où je pleurais dans tes bras car je n'y arrivais plus, tu étais mon « punching ball » mais au final ça en valait la peine. Je ne pourrai jamais oublier tous ce que tu as fait pour moi, tu fais partie de ma réussite aux études. Je pense que tu étais encore plus stressé que moi quand j'attendais les résultats qui au final étaient toujours positifs. Cette thèse est aussi dédiée à toi, mon boulanger préféré qui a su m'expliquer comment on faisait du pain, les types de farine... Merci.

Je voulais encore te remercier pour le 25 juin 2022 qui à tout jamais a changé ma vie. Je t'aime mon amour de ma vie.

À ma mamie et mon papy, malgré la longue distance qui nous sépare, je vous serai toujours reconnaissante de tout l'amour, le courage et le soutien que vous m'avez apporté durant toutes ces années. Merci à vous de m'avoir téléphoné tous les jours pour savoir comment j'allais, si je mangeais bien, si j'étais bien rentrée de la prépa à 21h. Merci mamie pour toute la joie que tu me procures quand je t'appelle car tu es toujours de bonne humeur. Je vous aime de tout mon cœur

À ma manou, merci d'avoir toujours cru en moi et de m'avoir soutenue. Je sais que tu es très fière de ta seule petite fille. Je t'aime de tout mon cœur.

À ma tante Jeanne qui de là haut est super fière de moi. Tu voulais que je réussisse mes études, que j'ai une bonne situation. Voilà je crois avoir rempli le contrat. Tu es l'étoile qui brille tous les soirs dans le ciel et qui veille sur nous tous. Je pense souvent à toi. Tu me manques beaucoup ma petite parisienne préférée.

À mes amis

À Mathilde, mon amie en or **et Maxime**, mes deux meilleurs amis que j'ai rencontrés en PACES. Malgré la compétition de ce concours nous sommes restés soudés et bienveillants l'un envers l'autre. Merci d'avoir toujours été là pour moi. Merci Mathilde d'avoir toujours cru en moi. Tu es ma plus belle rencontre.

À Sarah, mon véritable coup de cœur Limougeaud. Nous nous sommes rencontrés à la pharmacie du Tilleul, tu étais jeune pharmacienne et moi encore étudiante. Depuis cette rencontre, on ne se quitte plus, il ne se passe pas un jour sans que je t'écrive ou qu'on se voit. Merci de m'avoir soutenue, merci pour tes conseils, tes fous rires et merci pour nos journées shoppings. En faite on est pareil... Bon tu as juste quelques centimètres de plus que moi... Vraiment merci pour tout.

À Mélissa, ma copine aveyronnaise, jamais l'une sans l'autre. On aura bien rigolé pendant toutes ses années d'études. Je me souviendrai toujours de nos révisions ensemble à se faire réciter l'une après l'autre... Mais on a toujours réussi à avoir nos années et sans rattrapage à chaque fois. Nos meilleurs moments resteront nos soirées chez Michard, à rigoler comme des petits fous. Encore un grand merci pour tout, tu me manques beaucoup.

Droits d'auteurs

Cette création est mise à disposition selon le Contrat :

« **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** »

disponible en ligne : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>



Table des matières

Introduction.....	18
I. L'histoire du pain	19
I.1. L'historique	19
I.2. Les différents pains.....	20
II. Du blé à la farine	21
II.1. Le blé.....	21
II.1.1. L'origine du blé.....	21
II.1.2. La botanique	22
II.1.3. Composition globale du grain de blé.....	23
II.1.3.1. Le périscarpe.....	23
II.1.3.2. L'albumen	24
II.1.3.3. Le germe	24
II.1.3.4. Le son.....	25
II.1.4. Analyse détaillée des constituants du blé :.....	25
II.1.4.1. Les glucides :.....	25
II.1.4.2. Les constituants pariétaux :.....	26
II.1.4.3. Les protéines :.....	27
II.1.4.4. Les lipides.....	30
II.1.5. La culture du blé tendre en France :.....	31
II.1.6. Effets du réchauffement climatique sur le blé	33
II.2. Le passage du blé à la farine	33
II.2.1. Le moulin et le nettoyage du blé	33
II.2.2. Mouillage des grains de blé	34
II.2.3. La mouture sur cylindre	34
II.3. La farine.....	36
II.3.1. Caractérisation des farines	36
II.3.2. Composition chimique de la farine.....	37
II.3.3. Valeur nutritionnelle	38
II.3.4. Contrôles toxicologiques sur la farine	39
II.3.5. Les améliorants autorisés	41
III. Le pain blanc / le pain complet.....	43
III.1. Les ingrédients	43
III.2. La fabrication du pain : fabrication artisanale	45
III.2.1. La panification du pain blanc	45
III.2.2. La panification du pain complet	48
III.3. Valeur nutritionnelle du pain	48
IV. L'impact du pain sur la santé	51
IV.1. Constituant principal du pain : l'amidon	51
IV.1.1. Qualité nutritionnelle de l'amidon	51
IV.1.1.1. Les grains d'amidon	51
La digestion de l'amidon.....	53
IV.1.1.2. L'impact glycémique ou index glycémique (IG).....	54
IV.2. Les fibres alimentaires	56
IV.2.1. Classement des fibres alimentaires.....	56

IV.2.2. Les propriétés physiques et chimiques des fibres alimentaires	57
IV.2.3. Les propriétés physiologiques des fibres alimentaires	58
IV.3. Les vitamines	63
IV.3.1. La vitamine B	63
IV.3.1.1. La vitamine B1 ou Thiamine.....	63
IV.3.1.2. La vitamine B2 ou riboflavine	64
IV.3.1.3. La vitamine B3 ou PP ou niacine	65
IV.3.1.4. La vitamine B6 et B9	66
IV.3.2. La vitamine E	67
IV.4. Les minéraux.....	68
IV.5. L'aspect nutritionnel du pain et son effet sur la santé	70
IV.5.1. Les fibres alimentaires et le cancer	70
IV.5.2. Le pain et les maladies cardio-vasculaire.....	72
IV.5.3. Le pain et la lithiase biliaire	72
IV.5.4. Le pain et le diabète de type 2 (DT2)	73
IV.5.5. La place du pain dans notre alimentation	76
V. Les maladies causées par le pain	79
V.1. La maladie coeliaque	79
V.1.1. La physiopathologie.....	80
V.1.1.1. La relation entre HLA et le gluten.....	80
V.1.1.2. Le mécanisme de cette toxicité.....	80
V.1.2. Les symptômes	81
V.1.3. Le diagnostic	83
V.1.4. La prise en charge de la maladie coeliaque	84
V.1.4.1. La prévention primaire	84
V.1.4.2. La prévention secondaire.....	84
V.1.4.3. Un régime sans gluten	85
V.1.4.3.1. Les aliments autorisés.....	85
V.1.4.3.2. Les végétaux contenant du gluten	85
V.1.5. L'instauration d'un traitement	85
V.1.6. Le rôle du pharmacien d'officine.....	86
V.1.6.1. Les excipients à effet notoire	86
V.1.6.2. Les conseils du pharmacien.....	87
V.2. L'allergie au blé	88
V.2.1. L'étiologie et la pathogenèse.....	88
V.2.2. Les symptômes de l'allergie au blé	88
V.2.3. Le diagnostic	89
V.2.4. Le traitement.....	89
V.3. Hypersensibilité au gluten non coeliaque.....	90
V.3.1. Les causes	90
V.3.2. Les symptômes	90
V.3.3. Le diagnostic	91
V.3.4. La thérapie.....	92
V.4. Les maladies professionnelles connues chez les boulangers	92
V.4.1. L'asthme	93
V.4.2. L'exposition professionnelle	93
V.4.3. L'asthme professionnel (AP)	94
V.4.3.1. La physiologie de l'asthme professionnel (AP)	95

V.4.3.1.1. L'inflammation des voies aériennes	95
V.4.3.1.2. Hyperréactivité bronchique (HRB).....	96
V.4.3.1.3. Obstruction bronchique	96
V.4.3.2. Diagnostic de l'asthme professionnel.....	97
V.4.3.2.1. L'examen clinique.....	97
V.4.3.2.2. Investigations immunologiques	98
V.4.3.2.3. Explorations fonctionnelles respiratoires (EFR)	102
V.4.3.2.4. Mesures de l'inflammation bronchique	104
V.4.3.2.5. Tests de provocation bronchique spécifiques	105
V.4.3.3. Conduite a tenir en cas d'asthme professionnel	106
V.4.3.4. L'impact.....	107
V.4.4. Les dermatoses et dermatites chez les boulangers	108
V.4.4.1. Qu'est ce qu'une dermatose ?	108
V.4.4.2. Qu'est ce qu'une dermatite ?	108
Conclusion.....	110
Références bibliographiques.....	111
Serment De Galien.....	131

Table des illustrations

Figure 1 : Schéma d'épillet et d'épi du blé (12)	23
Figure 2 : Grains de blé(15) Figure 3 : Coupe longitudinale d'un schéma de grain de blé(16)	24
Figure 4 : Cellulose, hémicellulose et pectine dans une paroi végétale(29)	27
Figure 5 : Gluténine et gliadine protéines qui forment le gluten(33)	28
Figure 6 : Classification des protéines de la farine du grain de blé(36)	30
Figure 7 : Formule chimique d'un acide stéarique, d'un acide oléique et d'un acide linoléique(38).....	31
Figure 8 : Cycle du blé tendre en France (40)	32
Figure 9 : Meules à grains (49) Figure 10 : Machine à cylindre (50).....	35
Figure 11 : Plansichter (52)	35
Figure 12 : Transformation du maltose par la cellule de levure.(73).....	46
Figure 13 : Différence entre un grain entier (farine complète pour un pain complet) et un grain nu (farine blanche pour un pain blanc) (80)	50
Figure 14 : Différents aspects de grains en fonction des échelles observées en MEB (81) ..	51
Figure 15 : Composition chimique de l'amylose (82)	52
Figure 16 : Structure chimique de l'amylopectine(84)	52
Figure 17 : Rôle de l'amylase salivaire et pancréatique dans la digestion des glucides(88) .	53
Figure 18 : Appareil pour réaliser le test à l'hydrogène expiré(91).....	54
Figure 19 : Index glycémique mesuré pour différents type de baguettes (93)	55
Figure 20 : Formule chimique de l'acide phytique (118)	62
Figure 21 : Anatomie du système hépatique (169)	73
Figure 22 : Évolution de la glycémie chez 10 sujets atteints de diabète (161)	76
Figure 23 : Dermatitis herpétiforme(196).....	82
Figure 24 : Coupes histologiques d'un duodénum sain et d'un duodénum atteint de la maladie coeliaque(199)	84
Figure 25 : Diagnostic par étapes des différentes maladies causées par le pain(226).....	92
Figure 26 : Différents asthmes professionnels, incluant l'asthme avec et sans période de latence.....	95
Figure 27 : Coupe bronchique transversale chez un sujet sain et chez un sujet asthmatique(247)	97
Figure 28 : Algorithme décisionnel de l'asthme professionnel (248).....	98
Figure 29 : Dispersion de gouttes d'allergènes sur la peau(253).....	99
Figure 30 : Pointe permettant d'introduire l'allergène sous la peau(253).....	99

<i>Figure 31 : Prick test positif(253)</i>	100
<i>Figure 32 : Réalisation d'une intradermoréaction (IDR) (254)</i>	100
<i>Figure 33 : Application de patchs tests au niveau du dos (256)</i>	101
<i>Figure 34 : Patchs tests positif, avec papule et érythème visibles. (256)</i>	101
<i>Figure 35 : Forte réaction à un produit, fortement positif au patch test avec présence d'érythème et de papules (256)</i>	101
<i>Figure 36 : Spiromètre inséré dans la bouche d'un patient (261)</i>	103
<i>Figure 37 : Spiromètre (262)</i>	103
<i>Figure 38 : Cabine fermée pour réaliser la pléthysmographie (262)</i>	103
<i>Figure 39 : Vue intérieur d'une cabine pour réaliser une pléthysmographie (260)</i>	104
<i>Figure 40 : Prélèvement du sang artériel pour réaliser la gazométrie (262)</i>	104
<i>Figure 41 : Appareil de mesure du Monoxyde d'Azote(270)</i>	105
<i>Figure 42 : Résultat du test au NO (270)</i>	105
<i>Figure 43 : Bien utiliser sa ventoline (274)</i>	106
<i>Figure 44 : Eczéma de la main (283)</i>	109

Table des tableaux

<i>Tableau 1 : Classification des farines par type (55)</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 2 : Contenu en macro et micronutriments des principaux types de farine utilisés en France (58).....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 3 : Les produits correcteurs retrouvés dans une baguette tradition et dans un pain courant (58).....</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 4 : Comparaison entre le pain blanc et le pain complet (79).....</i>	<i>50</i>
<i>Tableau 5 : Quantités de fibres alimentaires en gramme dans différents aliments, pour 100g d'aliments (98).....</i>	<i>57</i>
<i>Tableau 6 : Sources alimentaires de phytate (117)</i>	<i>61</i>
<i>Tableau 7 : Apports Nutritionnel Conseillé (ANC) en vitamine B2 en fonction de l'âge(123) 65</i>	
<i>Tableau 8 : Teneurs en fibres alimentaires des farines de blé et du pain (g/100g) (161)</i>	<i>71</i>
<i>Tableau 9 : Résumé des différentes qualités nutritionnelles des divers pains(80)</i>	<i>78</i>

Introduction

Avant le pain, il y a le blé. L'histoire du blé remonte à 500 000 ans, avec la cueillette des graminées sauvages. Par la suite, vient le temps de la domestication, l'homme va adapter des plantes sauvages par la culture et la sélection, il y a 10 000 ans. Il cultive les premières céréales issues de croisements entre graminées sauvages. Durant l'antiquité, les échanges entre les blés romains et les blés grecs enrichissent la base génétique. (1)

En France, la transformation des céréales s'est développée à la fin de la Seconde guerre mondiale dans le seul but de nourrir la population. À cette époque, les céréales les plus cultivées étaient le blé, le seigle et l'avoine. La production de blé était entièrement consacrée à l'alimentation humaine, principalement pour transformer les céréales en farines par les meuniers.

Le pain, depuis des siècles, est l'incarnation de la vie, du bonheur, de l'espérance et du désir. C'est une denrée essentielle à notre alimentation qui fait parti de notre culture. Le pain que nous consommons découle d'un long cheminement agricole, technologique et gastronomique. Le pain est aussi le symbole de la vie et du travail des hommes. Il incarne toutes les saisons et tout le cycle de la vie.

Depuis de nombreuses années, beaucoup de Français pensaient que cet aliment était très calorique et qu'il faisait prendre de la masse mais il n'en est rien en réalité.

Aujourd'hui, les nutritionnistes et les autorités sanitaires gratifient les bienfaits du pain, principalement le pain complet, plus riche en fibres. Le pain est un aliment qui permet une alimentation équilibrée et qui diminue les risques de cancer et de maladies cardiovasculaires lorsqu'il est en association avec une alimentation quotidienne équilibrée. Il est riche en fibres, plus il joue un rôle de régulateur d'appétit. Il est vrai que le pain n'a pas que des effets positifs sur l'organisme en particulier pour les personnes souffrants « d'intolérance au gluten » ou de la maladie coeliaque (entéropathie chronique grêle causée par un régime contenant du gluten chez les patients génétiquement prédisposés).

Dans cette thèse, nous nous intéresserons à deux types de pain très connus en France : le pain blanc et le pain complet. Dans une première partie, nous aborderons les caractéristiques botaniques du blé. Par la suite, nous présenterons successivement la fabrication de la farine et du pain puis les contrôles qualités réalisés à chaque étape de sa transformation. Dans une troisième partie, nous évoquerons les différentes valeurs nutritionnelles de ces deux types de pain et nous évaluerons d'après la bibliographie, s'il est préférable de consommer du pain blanc ou du pain complet. Enfin dans une quatrième partie, une partie sera consacrée aux maladies causées par le pain chez les patients mais aussi chez les boulangers.

I. L'histoire du pain

I.1. L'historique

Le mot pain est issu du latin « panis » qui signifie nourrir. Le pain apparaît en 8 000 avant .J.C. au Moyen Orient, à la frontière entre l'Irak et l'Iran. La première meule à grains remonterait à la fin du Néolithique. Vers 1850-1800 avant notre ère, le pain est retrouvé dans les premiers récits bibliques. C'est en 1235-1224 avant J.C., que les pains Azymi et Zymi font leur apparition. Le pain Zymi était déjà connu comme pain produit avec du levain en revanche le pain Azymi est un pain réalisé uniquement avec de l'eau et de la farine pétris ensemble.(2) L'invention du pain est attribuée au peuple Egyptien, qui aurait fait cette découverte par hasard. Les Egyptiens travaillaient la terre et cultivaient les graines. Ils ont écrasé les graines, puis les ont mélangées à l'eau du Nil qui est riche en limons (agents de fermentations) et ont oublié cette pâte qui retrouvée quelques heures plus tard, a été posée sur le feu. Cela a donné une galette levée. Cette galette était alors très nourrissante et est devenue la base de leur alimentation. En France, le pain fût introduit par les romains, qui ont appris les techniques de fabrication lors des conquêtes de la Perse et de la Grèce.

Le pain est resté longtemps une fabrication domestique ; ce n'est qu'au VI^e siècle, que les boulangeries et les moulins à vent font leurs apparitions. En revanche, c'est seulement en 1050, que le pain est devenu l'aliment de base du peuple. L'usage du pain s'est développé grâce à la religion Chrétienne. Le pain est devenu populaire à la renaissance, les nobles et les bourgeois dégustaient le pain blanc qu'ils achetaient chez le boulanger à la différence des paysans, qui eux mangeaient du pain noir qu'ils confectionnaient dans leurs fermes, grâce aux céréales disponibles. Au XIII^e siècle, des corporations apparaissent, elles regroupent des maîtres (qui achètent leur maîtrise au Roi), des apprentis et des compagnons. Une loi royale est appliquée le 19 janvier 1322 pour autoriser le travail de nuit des boulangers. En 1372, sous Charles X, les boulangers fabriquaient seulement trois sortes de pains. Ces trois pains avaient un taux de blutage (séparation du son et de la farine) différent : pain blanc (bourgeois), pain brun et pain noir à base de seigle pour les pauvres.

Ce n'est qu'au XV^e siècle, que la levure et le levain font leurs apparitions et ils sont utilisés de façon progressive.

La levure de bière fût interdite par la faculté de médecine de Paris le 13 août 1668 pour ses nuisances sur la santé mais, le 21 mars 1670, elle fût de nouveau autorisée par le Parlement, à la suite de l'engouement de la population pour cette levure dans le pain. (3)

Au XVIII^{ème} siècle, le pain est l'aliment de base du peuple et il est le symbole de l'espoir, du sacre pour les catholiques, de la justice et de la stabilité. De plus, au XVIII^{ème} siècle, le pain change de forme, il passe d'une boule à une forme allongée. Le pain complet (avec l'enveloppe de la graine) apparaît dans cette même période mais c'est le pain blanc qui est le plus recherché (pain sans enveloppe du grain de blé). 1793 est une date importante à retenir car le pain est accessible pour tout le peuple, on parle de « pain de l'Egalité ».(4)

Au XIX^{ème} siècle, la mécanisation des pétrins se développe. Il y aura une production de farine blanche, qui sera dépourvue de germe et de son. Cette farine sera donc moins riche en vitamines, en fibres, et en minéraux mais elle se conserve mieux.

En 1860, Louis Pasteur identifie la levure comme un micro-organisme responsable de la fermentation alcoolique.

C'est en 1970 que le pain complet refait son apparition est redevient à la « mode », grâce à un cancérologue Anglais, le docteur Burkitt qui prône les effets positifs des fibres alimentaires.

Mais au XX^{ème} siècle, la plupart des boulangeries ne proposent plus que du pain de qualité industrielle, le « vrai pain » a disparu. Les boulangeries industrielles ont des exigences sur la qualité de la farine qui impose l'utilisation de pesticides afin d'avoir des rendements importants et constants pour les variétés de blé. De plus dans les boulangeries, la standardisation a fait son apparition : four automatique, levures rapides, mélange de farines, conservateurs, édulcorants. Le pain est donc triste, blanc, sans matière, mou, insipide.

Depuis le début du siècle, tout notre mode de vie a changé, l'agriculture est devenue intensive, les agriculteurs utilisent des produits pour rendre le blé moins fragile et plus résistant. Il y a une standardisation des farines, des modes de fabrication industrielle, cela donne une texture spongieuse et un gout fade au pain. (3,5) En revanche, le blé ne peut pas être modifié par ingénierie génétique, la culture d'OGM à des fins commerciales est interdite en France depuis 2008. (6)

Le « vrai pain » est il toujours présent ?

I.2. Les différents pains

Les pains sont différents en fonction des pays. Dans l'encyclopédie de Diderot qui recense une trentaine de noms de pains ; les principaux pains sont : la faluche, la fouée, la gâche de Vendée, la fougasse, le pain azyne, le pain bûcheron, le pain de campagne, le pain d'épi, le pain au levain, le pain Napoléon, le pain polka. Les pains sont classés en fonction des farines, il y a le pain bis, le pain blanc et le pain complet. La législation française classe les pains en fonction de leurs compositions et les techniques de fabrication. Il y a le pain tradition française, le pain maison, le pain au levain, le pain cuit au feu de bois, le pain de campagne, le pain de seigle, le pain de froment, le pain de son. Les boulangers réalisent des pains spéciaux qui sont très à la mode depuis quelques années : le pain complet, le pain d'épeautre, le pain de maïs, le pain de quinoa... (7)

II. Du blé à la farine

II.1. Le blé

II.1.1. L'origine du blé

La découverte de cette céréale a été très importante pour l'humanité. Avant l'apparition du blé, l'être humain était nomade, cueilleur et chasseur pendant des millénaires. Grâce au blé, l'homme a créé un mode de vie complètement nouveau. Lorsque l'homme a découvert le blé et a commencé à le cultiver, il a voulu améliorer la production mais il a aussi surtout voulu le pérenniser. L'ensemble de ces transformations pratiques et mentales a donné lieu à la Révolution Néolithique. La révolution Néolithique fut la première révolution agricole. Ce mouvement de bascule s'opère entre 10 000 et 5 000 ans avant notre ère, dans un environnement favorable lié au réchauffement climatique, l'ère glaciaire est terminée. Nous sommes passés des tribus de chasseurs-cueilleurs vers des populations d'agriculteurs. La culture du blé est présente dans le « croissant fertile » du Moyen-Orient (Liban, Sud de la Turquie et Syrie). Au tout début, il était récolté à l'état sauvage. C'est autour de cette plante que se sont sédentarisés les premiers agriculteurs.(8) En revanche, ce n'est que 3 000 ans plus tard que différentes formes de blé sont cultivées en France. Les romains introduiront le blé tendre et le blé Poulard. Le Roussel est un épeautre barbu roux qui arrivera au XVI^{ème} siècle. En 1850, le blé anglais s'impose dans le nord de la France. Finalement, c'est grâce à une seule personne, Louis de Vilmorin, que les croisements entre ces différentes variétés commenceront à être pratiqués. C'est le début de la création des blés « modernes ». L'objectif de Louis de Vilmorin était d'obtenir des lignées pures (variétés qui conservent les mêmes caractères d'une génération à l'autre). Sa première réussite fut le blé moderne, Dattel, issue du croisement entre deux blés anglais, le Prince Albert et Chiddam d'automne à épi rouge. (9) Ce croisement a été réalisé en 1874, et mis à disposition des agriculteurs en 1883. Malgré la concurrence de nouveaux hybrides, cette variété est la plus utilisée dans l'agriculture Française. Ces différentes variétés de blé sont classées selon leurs exigences de développement : il y a des variétés d'hiver, de printemps, résistantes au froid et même aux maladies. (9)

Pour réaliser le pain, les boulangers vont utiliser le blé tendre ou *Triticum vulgare*. Le blé dur, *Triticum durum* est utilisé pour fabriquer des semoules et pâtes alimentaires.(10) Le blé Dattel est un blé tendre d'hiver pourtant certains agriculteurs le sèment en janvier-février et s'en déclarent satisfaits. Ce blé plaît car le grain a une belle apparence, il s'adapte facilement aux terres de moyenne fertilité. Son rendement est plutôt intéressant. Au niveau des maladies, ce blé résiste à la rouille et à l'échaudage (arrêt du développement des céréales à cause du dessèchement par le soleil).(10) En France, il est cultivé principalement dans l'Ouest, le Nord et l'Île-de-France.

Nous pouvons donc dire que Vilmorin est le pionnier dans le monde de l'hybridation. La recherche de nouveaux géniteurs s'est accélérée en 1945, pour obtenir des variétés plus résistantes au froid et aux maladies. C'est en 1960, que nous avons obtenu des variétés de différentes origines. (10)

Actuellement, en France, les agriculteurs ont un vaste choix pour sélectionner les meilleurs blés qui conviennent à leurs terres. Il y a 350 variétés de blé tendre (blé permettant la fabrication du pain). Le rendement du blé tendre a triplé en cinquante ans dans notre pays. Tous les ans, les agriculteurs sont très attentifs aux nouvelles variétés et leurs attentes sont assez nombreuses. Ils cherchent des variétés encore plus résistantes aux accidents climatiques et aux maladies.(1)

II.1.2. La botanique

Le blé appartient à la famille des Graminées, étymologiquement cela signifie « producteur de grains ». Les botanistes préfèrent un terme plus précis et plus scientifique : les Poacées (l'épillet est sessile, l'inflorescence en épis, possède plusieurs fleurs) le genre est *Triticum*. Il y a environ 2 500 espèces de blé répandues sur tout le globe. Ce groupe de plante est assez caractéristique et facile à reconnaître. Il y a deux espèces de blé : le blé dur (pâtes, semoule) et le blé tendre (pain) utilisés dans l'alimentation. Le blé dur, *Triticum durum*, son feuillage est clair, épis barbus et l'intérieur du grain est brillant, lisse et vitreux. Il est très peu cultivé en France. Il est utilisé pour fabriquer de la semoule ou de la pâte. Au niveau de ses caractéristiques, il a une forte teneur en protéines, donc sa tenue est meilleure à la cuisson. Il est « impanifiable » c'est à dire qu'il ne peut pas être transformé en pain. Le blé utilisé par les boulangers est le blé tendre, *Triticum vulgare*, au niveau de son aspect : le feuillage est vert, les épis sont barbus en général. L'intérieur du grain est blanc et farineux. C'est le blé le plus cultivé en France et il est panifiable. (11)

Il existe aussi le blé Mitadin, dont les caractéristiques se situent entre les deux précédents. Si nous décrivons la plante il y a : les tiges qui sont des chaumes cylindriques, souvent creuses par résorption de la moelle centrale. Elles ont de longs et de nombreux faisceaux conducteurs de sève. L'oscillation des champs de blé au vent s'explique grâce à leur structure, les faisceaux sont entrecroisés et renferment des fibres avec une paroi assez épaisse, cela permet de renforcer les chaumes. Les chaumes sont donc à la fois souples et résistants. (1) La longue feuille entoure la tige, s'allonge en un limbe étroit à nervures parallèles. Dans l'épiderme de nombreux amas de silice microscopiques très durs sont observés, ça rend l'organe tranchant.

Au niveau de l'appareil reproducteur, il y a de nombreuses fleurs peu visibles et petites. Elles sont regroupées en épis situés à l'extrémité des chaumes (figure 1). Après la fécondation, l'ovaire se transforme en « grain » ou en semence. Les grains sont donc à la fois un fruit mais aussi une graine. Cette semence très particulière est appelée un caryopse (type de fruit sec indéhiscent, spécifique des Graminées). (9)

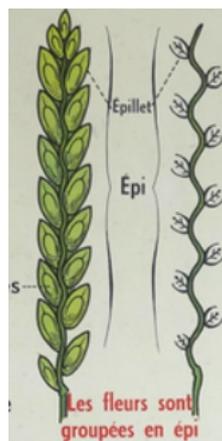


Figure 1 : Schéma d'épillet et d'épi du blé
 Source : Pinterest, Les plantes sans fleur : le blé (12)

II.1.3. Composition globale du grain de blé

Dans le blé, le fruit est le grain qui renferme une graine. Dans le bord du grain il y a une enveloppe sèche et dure, constituée de cellulose, le cotylédon qui représente entre 82% et 85% du grain, dans lequel nous y trouvons des glucides, des protéides, des vitamines, des substances minérales et des lipides.

Le cotylédon est une feuille primordiale constitutive de la graine. Le blé est une plante monocotylédone, elle comporte donc un seul cotylédon. Situé dans la graine, le cotylédon est nécessaire au bon développement de la jeune plantule. Il lui fournit les métabolites nécessaires à sa croissance en utilisant soit des réserves nutritives soit la photosynthèse dans le premier stade de développement. Les grains sont peu hydratés, cela va dépendre de la température de l'air ambiant. (13)

La taille du grain de blé est d'environ 6mm, sa couleur varie entre le jaune pâle et l'ocre roux en fonction des variétés. Au niveau de l'extrémité nous retrouvons une fine brosse de poils. La masse du grain varie en fonction de différents facteurs comme par exemple la sécheresse, les maladies. Si les grains de blé sont plutôt ridés et maigres cela signifie qu'ils manquent d'eau ou que le sol est trop pauvre. Si nous regardons plus précisément le grain de blé, il y a trois parties bien différentes, l'enveloppe (13 à 15% de la masse du grain), l'albumen (82 à 85% de la masse du grain) et l'embryon aussi appelé le germe (3% de la masse du grain) (figure 2 et 3). (13)

II.1.3.1. Le péricarpe

Tout d'abord, le grain est protégé par une enveloppe de l'extérieur vers l'intérieur, qui est le péricarpe. Le péricarpe protège la graine, il est plutôt résistant et dur. Ce péricarpe est lui-même sous-divisé en trois enveloppes : du péricarpe externe ou épicarpe, composé de deux couches de tissus, épiderme et hypoderme. L'épiderme est couvert d'une cuticule fine.

Puis, le péricarpe interne est composé de trois couches = cellules intermédiaire (pas de formation de couche continue), il y a ensuite le mésocarpe puis endocarpe qui est localisé dans la partie dorsale du grain. Juste en dessous le péricarpe, il y a le tégument séminal ou testa, qui est constitué en forte proportion de cellulose, hémicellulose, de pentosanes et d'éléments minéraux comme le péricarpe. (13) En dessous du testa, il y a la bande hyaline constituée par les restes de l'épiderme du nucelle.(13)

II.1.3.2. L'albumen

Ensuite, il y a l'albumen, c'est la partie du grain qui donne la farine. Pour atteindre cet albumen il faut écraser le grain, c'est la méthode utilisée dans les moulins primitifs.

L'albumen constitue un tissu de réserve qui accumule des molécules de glucose (donc du sucre à 70 à 75%). L'albumen est enchâssé dans un réseau de protéines, cette partie là, forme le gluten. Les matières azotées du gluten donne les protides qui permettent à la pâte à pain d'avoir une élasticité au moment du pétrissage.(14)

Dans l'albumen, deux sous parties sont observées : l'assise protéique ou couche à aleurone qui assure une forte adhésion à l'amande du grain et l'albumen amylicé. L'assise protéique est riche en protéines mais aussi en vitamines, lipides et minéraux.(14)

II.1.3.3. Le germe

Le germe, c'est la partie qui donne naissance à la future plante. Il est constitué de cellules, dans lesquelles il y a de nombreuses propriétés comme les vitamines B, E et de matières grasses, des protéines, et de sels minéraux. Il y a aussi des acides gras polyinsaturés qui ont un effet bénéfique pour la santé mais qui rancissent rapidement. Il est donc préférable de ne pas l'incorporer à la farine pour éviter le rancissement des matières grasses qui donnera un mauvais goût. En revanche, dans les farines bisées et complètes, le germe est présent et les boulangers doivent l'utiliser dans les deux mois qui suivent la mouture pour éviter que le produit rancisse et soit inexploitable. (13)

Après la mouture, l'enveloppe s'enlève de l'amande et on obtient le son. Le son peut être utilisé dans certains pains comme dans le pain complet.



Figure 2 : Grains de blé (15)

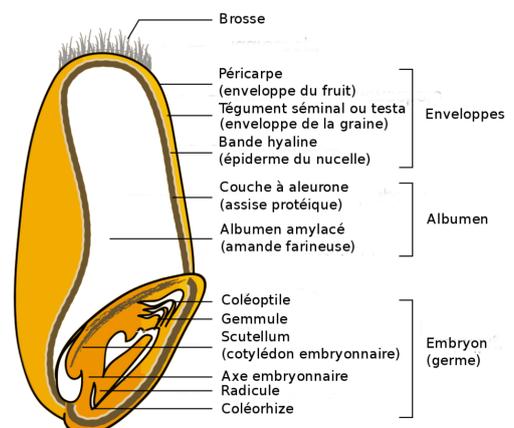


Figure 3 : Coupe longitudinale d'un schéma de grain de blé(16)

II.1.3.4. Le son

Le son est l'enveloppe qui protège le grain de blé. C'est un coproduit, c'est à dire des résidus obtenus après la séparation de la farine par tamisage. En général il y a 25 kg de son et 75 kg de farine blanche pour 100 kg de blé. Le son est constitué de l'enveloppe du caryopse (*fruits sec des graminées, la graine est soudée au péricarpe (17)*) après la séparation de l'amande. Il s'agit de l'une des parties les plus riches du blé. Le son est riche en fibres alimentaires, protéines, sels minéraux, vitamines, acides gras et en acide phytique. (18,19)

II.1.4. Analyse détaillée des constituants du blé :

II.1.4.1. Les glucides :

Les glucides, communément appelés sucres, sont composés d'oxygène (O), de carbone (C) et d'hydrogène (H). Ce sont des molécules organiques dont les carbones sont porteurs de fonctions alcools (alcool primaire ou secondaire), d'une fonction aldéhyde ou cétone et parfois d'une fonction acide ou amine. Il existe une classification chimique pour qualifier les glucides, il s'agit du suffixe « ose ». Nous parlons donc d'oses ou de monosaccharides simples car il est impossible de les hydrolyser en glucides plus simples. (20)

Les glucides ont un rôle de structure; ils interviennent comme éléments de soutien (cellulose), de protection. Ils jouent un rôle comme composés de réserve des végétaux et animaux comme l'amidon et le glycogène. Les glucides constituent des molécules fondamentales au même titre que les coenzymes, vitamines, acides nucléiques... Leur rôle est aussi énergétique, ils représentent 40 à 50% des calories apportées par l'alimentation humaine. (21)

Dans les grains de céréales, il y a principalement de l'amidon qui est un glucide complexe composé de D-glucose et des constituants pariétaux : cellulose et hémicellulose. La majorité des glucides que nous retrouvons dans le blé ont six atomes de carbone nous les appelons les hexoses. Le plus répandu et connu de cette classe est le glucose. Dans les hémicelluloses, il y a seulement cinq atomes de carbone il s'agit de pentoses tels que le xylose et l'arabinose. (22)

Il faut noter qu'il existe deux types de chaînes de glucose dans l'amidon :

-l'amylose : c'est une molécule linéaire, un polysaccharide non ramifié constitué d'unités glucose liées par liaison $\alpha-1\rightarrow4$. Elle ne représente que 20 à 28% des polysaccharides dans le blé. (23)

- l'amylopectine : les chaînes sont ramifiées. Elles sont plus importantes que l'amylose et peuvent rassembler jusqu'à 100 000 unités glucose. Il y a environ 72 et 80 % d'amylopectines dans le blé. Les unités glucose sont liées de manière linéaire par des liaisons $\alpha-1\rightarrow4$. Des ramifications interviennent lors d'une liaison $\alpha-1\rightarrow6$ toutes les 24 à 30 unités glucose. (24)

II.1.4.2. Les constituants pariétaux :

La paroi végétale est constituée de glucides pariétaux qui sont la cellulose, l'hémicellulose, les pectines et la lignine. Les constituants de la paroi sont synthétisés et exportés selon deux modes. Les polysaccharides, les pectines et les hémicelluloses sont fabriqués dans les vésicules golgiennes et sécrétés dans la paroi par exocytose. En revanche, la cellulose est directement produite dans la paroi au niveau de la membrane plasmatique. La cellulose et l'hémicellulose sont des polymères glucidiques. Le son contient en moyenne 20% de cellulose, 35% d'hémicellulose et 5% de lignine. La cellulose est la matière organique la plus abondante sur Terre, la photosynthèse par les plantes en fabrique entre 1 à 200 Gt par an. Elle est l'élément majoritaire de la paroi cellulaire. La cellulose est un polymère de glucose (10 000 à 15 000) reliées par des liaisons β (1,4)-. Il s'agit d'une molécule linéaire. (25) La cellulose est un polymère linéaire de glucose de haut poids moléculaire avec des liaisons glucose-glucose β 1-4 qui ne permettent pas l'action de l'amylase (contrairement à la liaison α 1-4). La cellulose est un glucide constitué de chaînes linéaires de molécules de D-glucose, reliées entre elles pour donner un polymère linéaire. La cellulose possède certaines propriétés physico-chimique, telles que la capacité de rétention d'eau et de gonflement.(26)

Chez l'homme, elle n'est pas métabolisée dans l'intestin car il n'y a pas de β (1,4)-glucosidase intestinale. Elle est utile sous forme de fibres végétales pour une bonne digestion. La digestion de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine est possible chez les herbivores qu'à condition que ces ruminants établissent des relations symbiotiques, le plus souvent avec des bactéries, parfois des champignons ou des protozoaires capables d'attaquer ces composés. (27)

Les hémicelluloses sont une famille très hétérogène de molécules ramifiées, de façon variable, et contenant, le plus fréquemment des hexoses et des pentoses. L'hémicellulose est un biopolymère (polymères issus de la biomasse) de la famille des glucides. Nous le retrouvons dans la paroi cellulaire végétale. Elle a un rôle de pontage entre les fibres de cellulose. Dans la biomasse nous retrouvons 30 à 45% d'hémicellulose derrière la cellulose à 50%) mais devant la lignine (15 à 25 %).

L'hémicellulose forme une classe de polymères très variés. La classe la mieux étudiée est celle des xyloglucanes. Il y a une chaîne de glucose β (1-4) et de courtes chaînes latérales de xylose, de galactose et de fucose. L'hémicellulose porte des ramifications mono ou polyosidiques d'arabinose, de mannose, de galactose ou d'acide glucuronique.

Les hémicelluloses de polymérisation moyen (150 à 200 unités) se présentent sous la forme d'une hélice avec une certaine flexibilité. Leur pouvoir de rétention d'eau est assez fort.

Les hémicelluloses qui possèdent un groupement acide ont le pouvoir d'échanger les ions. Elles sont souvent plus digestibles que la cellulose (60% contre 30% pour la cellulose). (28)

Dans les constituants pariétaux nous observons aussi les pectines. Elles sont localisées au niveau de la paroi et forment des ciments intermédiaires. Les pectines sont présentes dans toutes les cellules végétales mais en moindre quantités que les autres substances polysaccharidiques non amyliées. Elles sont constituées principalement d'un enchainement de molécules d'acides galacturoniques et de rhamnoses portant des chaînes latérales composées d'arabinose et de galactose (figure 4).

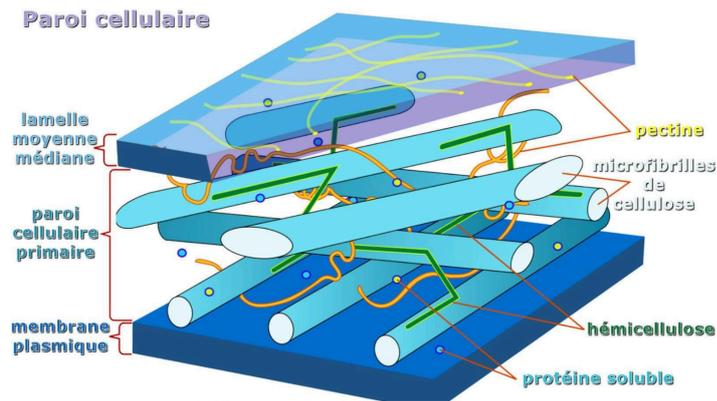


Figure 4 : Cellulose, hémicellulose et pectine dans une paroi végétale(29)

Pour terminer avec les constituants pariétaux, la lignine est aussi retrouvée. Elle n'est pas de nature glucidique mais elle est très hétérogène. C'est le composé le plus important après la cellulose au niveau de certaines parois végétales. Il s'agit d'un polymère complexe de phénylpropane, composé d'alcools sinapylique, coniférylique et para-coumarylique. La lignine est totalement insoluble. (30) La lignification est limitée à des cellules spécialisées.

II.1.4.3. Les protéines :

Le rôle des protéines est très diversifié au sein de la cellule. Les peptides et les protéines résultent de l'enchaînement d'acides aminés reliés entre eux par des liaisons covalentes appelées liaisons peptidiques. Cet enchaînement est codé par le génome. Lorsque le nombre d'acides aminés est faible (<50) nous parlons de « peptide ». Il existe quatre structures de protéines : la primaire, la secondaire, la tertiaire et la quaternaire. (31)

Dans le blé tendre, il y a du gluten. C'est une masse grise, viscoélastique. Il est extrait de la pâte de farine de blé par percolation avec un filet d'eau. Ce gluten est nécessaire pour permettre la réalisation de la panification.

Le gluten a trois rôles majeurs. Il a une capacité à constituer un réseau pour la panification, il maintient de la pression des gaz issus de la fermentation des levures et il contribue à la coloration des produits finis (aspect des produits finis, réaction de Maillard). (31)

La matière sèche du gluten est composée de 75% à 80% de protéines, de 5 à 10% d'amidon résiduel, de 1 à 2% de sucres réducteurs, de 2% de cellulose et de 1% de matière minérale. Les divers éléments sont liés pour donner un réseau très tenace et serré. Ils possèdent aussi une très grande élasticité. Le gluten a donc des propriétés rhéologiques. C'est à dire la teneur en eau, en température et en durée de temps de repos vont jouer un rôle dans la viscosité, la plasticité et l'élasticité de la matière. Le gluten est composé majoritairement d'éléments protéiques : les gliadines et les gluténines (figure 5).

Nous les retrouvons à parts à peu près égales. En revanche, il y a de faibles quantités d'albumine et de globulines.

Les gluténines jouent un rôle essentiel dans la structure du gluten grâce à des propriétés agrégatives. C'est une macromolécule qui développe une grande surface de liaisons non covalentes. Ces liaisons non covalentes peuvent apparaître avec des gliadines ou d'autres gluténines. Les gluténines jouent un rôle sur la résistance, l'élasticité de la pâte. En revanche, les gliadines ont un impact sur l'allongement, l'extensibilité de la pâte. (32)

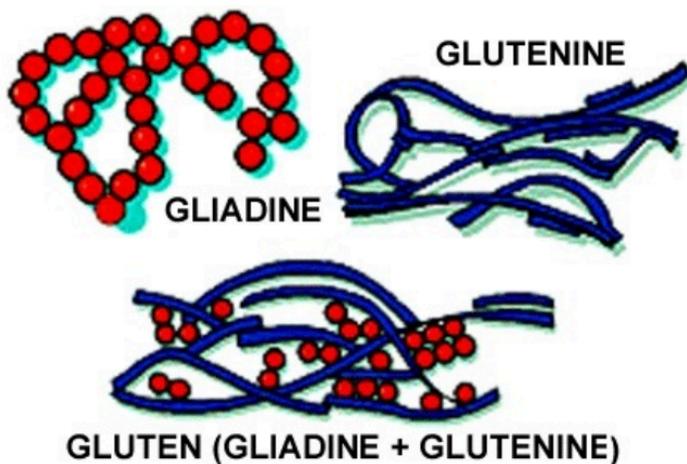


Figure 5 : Gluténine et gliadine protéines qui forment le gluten(33)

Il existe six types de protéines dans le gluten :

- ❖ Les gluténines de hauts poids moléculaire (80 000 à 130 000 Daltons) retrouvées dans le reticulum endoplasmique,
- ❖ Les gluténines agrégantes (20 000 à 70 000 Daltons) composées d'acides aminés identiques à celles de l'albumine, globulines, dans la membrane,
- ❖ Les gliadines de haut poids moléculaire (36 000 à 44 000 Daltons), ils forment des ponts disulfures comme les gluténines,
- ❖ Les gliadines de faibles poids moléculaire (α , β , γ), elles sont synthétisées dans le réticulum endoplasmique.
- ❖ Les ω -gliadines ont un poids moléculaire élevé et ne contiennent pas de cystéine,
- ❖ Les albumines et globulines.

Dans les protéines de la farine, il y a les protéines cytoplasmiques (15 à 20%) et des protéines de réserve (80 à 85%). Grâce à la méthode d'Osborne, les protéines végétales peuvent être réparties en quatre grandes familles :

- ✦ Les albumines = 9% (solubles dans l'eau)
 - ✦ Les globulines = 8% (solubles dans les solutions salines)
- } Protéines cytoplasmiques
-
- ✦ Les gliadines = 43% (solubles dans les solutions alcooliques diluées)
 - ✦ Les gluténines = 40% (solubles dans les solutions alcalines)
- } Protéines de réserve

Les gliadines sont des prolamines, formant un ensemble de protéines présentes dans le blé et plusieurs autres céréales. Ce sont des protéines monomériques avec un poids moléculaire compris entre 25 à 75 000. Les gluténines sont des protéines de réserve présentes dans les graines, du groupe des glutélines. Ce sont des protéines agrégées avec un poids moléculaire supérieur à 100 000. Elle est abondante dans la farine de blé. (34)

- ❖ Protéines de réserve : gliadines
 - * Haut poids moléculaire : supérieur à 90 000 Daltons (Da)
 - * Riches en soufre : α , β , γ gliadines et gluténines de 35 000 à 40 000 (Da).
 - * Pauvres en soufre : ω gliadine.
- ❖ Protéines de structure : gluténines.
- ❖ Protéines fonctionnelles : albumines et globulines

Les protéines cytoplasmiques comme les albumines et globulines sont constituées d'un nombre assez important de différentes protéines, qui ont des activités biologiques, comme des activités enzymatiques mais elles ont peu d'intérêt technologique. Pour les albumines, le poids moléculaire moyen est de 16 000 Daltons avec quelques variations de 10 000 à 30 000. Elles sont différenciées des protéines de structure ou de réserve par leur relative richesse en acides aminés basiques = lysine et arginine, leur moindre teneur en acide glutamique et en proline.

Les globulines, leur masse moléculaire est d'environ 100 000 Daltons. Leur composition est proche de l'albumine ; les globulines sont plus riches que celle-ci en lysine et arginine mais plus pauvres en tryptophane et en acides aminés.(35)

Pour les prolamines ou gliadine elles sont solubles en milieu alcoolique, ce qui est assez rare. Elles constituent un ensemble de réseaux qui peut se séparer par électrophorèse en gel d'amidon ou de polyacrylamide (par migration au travers de ces gels sous l'action d'un champ électrique, dans une solution à pH acide).(35)

Les gliadines du blé sont réparties en quatre familles =

- ❖ α gliadines : masse moléculaire comprise entre 27 000 et 38 000 Daltons
- ❖ β gliadines : masse moléculaire varie entre 27 000 et 41 000 Daltons.
- ❖ γ gliadines : masse moléculaire de 18 000 Daltons
- ❖ ω gliadines : masse moléculaire comprise entre 65 000 et 75 000 Daltons.

Toutes les gliadines sont riches en proline et acide glutamique sous la forme de glutamine mais elles ont une faible teneur en acides aminés basiques. (36)

Pour terminer, les gluténines sont composées de 15 sous-unités liées entre elles par des ponts disulfures, de poids moléculaire variant de 11 600 à 133 000 Daltons.

La teneur en glycine, lysine, serine, alanine et tyrosine est bien supérieure à celle des gliadines. En revanche, c'est l'inverse pour l'acide glutamique, la cystéique et la proline dont leur teneur sont inférieures dans les gluténines (figure 6). (36)

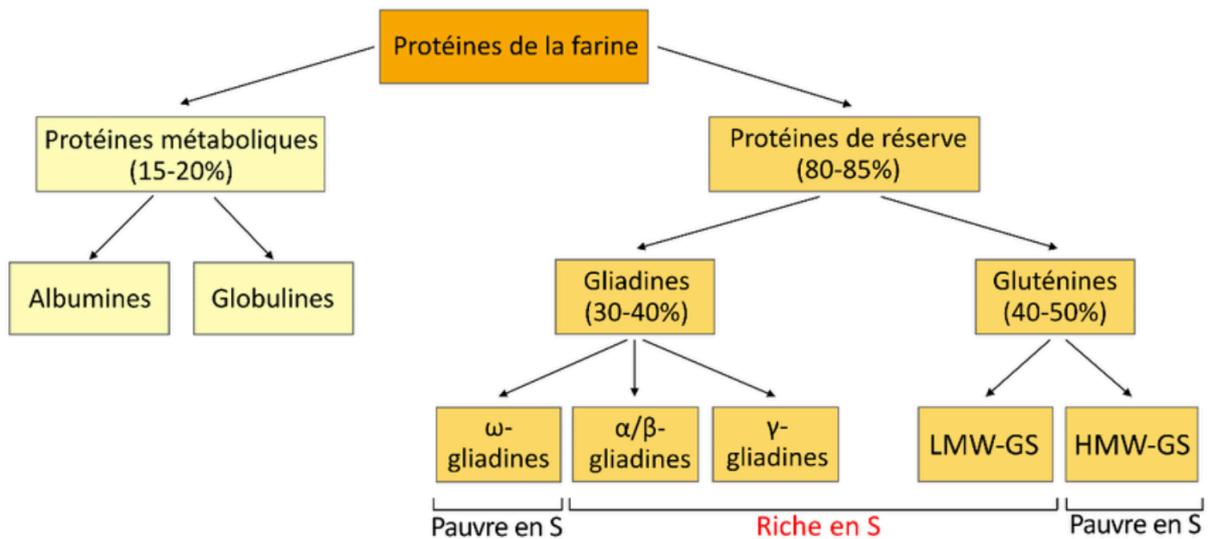


Figure 6 : Classification des protéines de la farine du grain de blé(36)

LMW-GS : low-molecular-weight glutenin subunits (sous-unité gluténine de faible poids moléculaire)

HMW-GS : high-molecular-weight glutenin subunits (sous-unité gluténine de haut poids moléculaire)

II.1.4.4. Les lipides

Dans le grain sec des céréales, des lipides sont aussi présents, environ 2 à 3%. Nous observons des lipides libres mais la majorité est associée à l'amylose et aux protéines. Les lipides influencent les propriétés physiques du grain de blé. Les lipides extraits par des solvants apolaires anhydres (le pentane, l'hexane, le benzène et le chloroforme) sont nommés «libres». Ils représentent 1 à 2,6 % de la matière sèche. Les lipides liés sont extraits par des solvants à constants diélectriques plus élevés (éthanol, méthanol), cela constitue 0,45% de la totalité des lipides. Les lipides libres et liés sont constitués respectivement de 70% et 30% de lipides non polaires et inversement 30% à 70% de lipides polaires.

Parmi ces lipides, il y a en grande majorité des acides gras à 16 et 18 carbones, saturés et insaturés tels que : (37)

- C 16 : 0 acide palmitique (*zéro double liaison*)
- C 18 : 0 acide stéarique (*zéro double liaison*) (figure 7)
- C 18 : 1 acide oléique (*une double liaison*) (figure 7)
- C 18 : 2 acides linoléiques (*deux doubles liaisons*)
- C 18 : 3 acide linoléique (*trois doubles liaisons*) (figure 7)

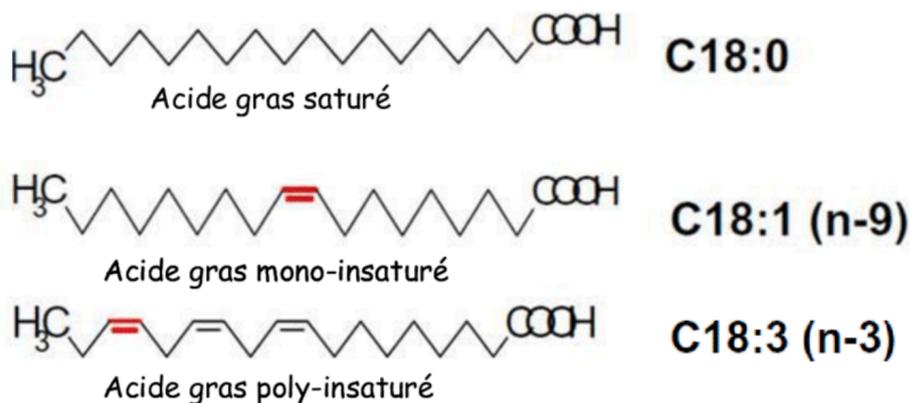


Figure 7 : Formule chimique d'un acide stéarique, d'un acide oléique et d'un acide linoléique(38)

Les lipides des céréales sont constitués de glycérides (esters du glycérol, mono, di- et trisubstitués) d'acides gras, de phospholipides et de glycolipides.

Dans les phospholipides il y a la phosphatidylcholine, avec un peu de lysophosphatidylcholine et lysophosphatidyléthanolamine.

Les glycolipides sont constitués principalement de digalactosyl diglycérides associés avec du monogalactosyl mono ou diglycéride, certains sous des formes N-acylés. (38)

II.1.5. La culture du blé tendre en France :

La production du blé tendre aussi appelé « froment » représente environ 750 millions de tonnes/an dans le Monde. Le premier producteur de blé tendre est la Chine avec près de 130 millions de tonnes par an, puis l'Inde avec 100 millions de tonnes, et en troisième position la Russie avec une production d'environ 60 tonnes par an. Au niveau de la zone de culture, le monde entier cultive le blé tendre du Canada en passant par l'Argentine, l'Europe, la Russie mais aussi l'Asie et l'Australie. (39)

Le blé tendre a été la première céréale présente en France, utile pour la farine panifiable. Elle représente en France 37 millions de tonnes produites chaque année. La France, est le premier producteur et exportateur historique de blé tendre de l'Union Européenne.

En France, le blé tendre est retrouvé partout sur le territoire mais surtout dans la moitié nord du pays. Les régions de production sont principalement le Bassin parisien, les Hauts de France, les Pays de la Loire, le Centre-Val-de-Loire, la Bourgogne-Franche-Comté et le Grand-Est. Cela représente cinq millions d'hectares de surfaces agricoles, soit la moitié des surfaces céréalières françaises. Sur un hectare de blé, les agriculteurs sèment trois millions de graines. Il faut entre 8 et 9 mois pour qu'un grain de blé donne un épi et puisse être récolté. (39)

Les étapes pour cultiver du blé tendre en France : (figure 8)(39)

1. Dans le nord de la France, les grains de blé tendre sont semés entre octobre et novembre.
2. L'étape de germination va commencer, le germe contenu dans le grain se développe au contact de l'humidité du sol.
3. Quelques jours plus tard, il y a l'apparition d'une petite pousse ou plantule, c'est la levée.
4. A la fin de l'hiver (vers mars), chaque plantule donne plusieurs brins ou tiges nommé talles, c'est le tallage.
5. Au printemps (vers avril), toutes ces tiges, ou brins s'allongent, c'est la phase de montaison.
6. Après la montaison, les épis sortent leurs gaines, c'est l'épiaison
7. Après la floraison et fécondation, les grains grossissent. En juillet où en août, les grains arrivent à maturité, les blés sont moissonnés.

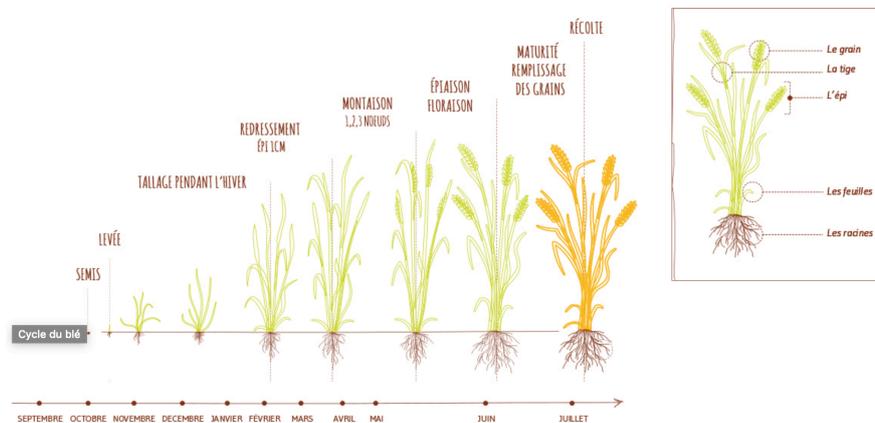


Figure 8 : Cycle du blé tendre en France (40)

Après la moisson, commence l'étape stratégique de la conservation du grain. Le grain est stocké durant une période d'une semaine à un an, pour maximiser sa conservation, les grains sont ventilés pendant une période assez longue. Cela permet de diminuer la température du grain à 12°C mais le grain de blé doit tout de même rester humide en dessous de 15%. Si le taux d'humidité dépasse 16%, des moisissures peuvent se développer et créer des mycotoxines. De plus, le grain de blé est analysé puis trié selon sa qualité. Le rôle du stockeur est d'emmagasiner toute la collecte de l'année en un temps très réduit, entre deux et trois semaines. Pour ensuite l'écouler au compte goutte suivant la demande des boulangeries. Chaque lot est enregistré pour assurer une bonne traçabilité au boulanger et au consommateur. (41)

Stockage et conservation du blé :

Après la récolte, les lots de blé sont stockés dans des silos appartenant à des coopératives agricoles. Celles-ci se doivent d'assurer le classement des blés en fonction de leurs utilisations envisagées et de leurs qualités. Cette conservation sanitaire des blés est nécessaire pour éviter toutes contaminations par les insectes, champignons ou autres.

En respectant ces différentes règles, les blés peuvent se conserver sur des durées de 12 à 15 mois. En France, il y a un organisme qui recense les rendements de collecte du blé et qui aide l'État à organiser les transactions internationales : c'est l'Office National Interprofessionnel des Céréales (ONIC). Il assure un revenu minimal aux agriculteurs en achetant leurs blés à un prix minimal et ce prix est majoré en fonction de la qualité du blé, de la durée de stockage ou des coûts de transports. (42)

II.1.6. Effets du réchauffement climatique sur le blé

Nous pouvons penser que le changement climatique aura un effet néfaste sur la croissance des plantes en général, mais cela n'est pas forcément vrai. Il y a deux théories contradictoires qui sont possibles.

Paradoxalement le réchauffement climatique entraîne une augmentation du gaz carbonique favorisant la croissance des plantes. Pour le rendement des céréales et plus particulièrement du blé, le rendement devrait augmenter du fait du réchauffement de la planète. Selon les climatologues, la température de la terre devrait augmenter de 2 à 5°C. cela entraîne une élévation de la quantité de gaz carbonique de l'atmosphère. Donc, s'il y a plus de carbone dans l'air, la photosynthèse va s'amplifier. Les feuilles seront plus grandes, plus robustes. L'absorption d'eau et les éléments fertilisants seront améliorés donc les rendements augmenteraient. (43)

En revanche, une hausse de température peut endommager les feuilles et les mécanismes de la photosynthèse, cela accélère le processus de vieillissement du blé. Le facteur le plus problématique sont les températures excessives qui diminuent le cycle de production et altèrent la qualité des grains. Depuis 1980, la hausse des températures a provoqué un abaissement de 5,5% des rendements en blé à l'échelle de la planète. Ce qui correspond à la production française. Il est important de se rappeler que le blé reste une plante de climat tempéré. (44)

II.2. Le passage du blé à la farine

II.2.1. Le moulin et le nettoyage du blé

Le moulin a été inventé à l'époque de l'antiquité, au I^{er} siècle avant J-C. C'est Marcus Vitruvius Pollio connu sous le nom de Vitruve qui a décrit le principe du moulin. Son apparition massive se situe durant la période médiévale, à partir du XI^{ème} siècle. Le moulin est une machine à moudre, il peut avoir une ou plusieurs meules. Le moulin permet de passer d'un grain à une poudre plus ou moins grossière ou farine. (45)

Avant de préparer le blé à la mouture, il va falloir vérifier que les blés reçus au moulin contiennent une proportion tolérable de graines étrangères et d'impuretés. Cela va permettre de les différencier en trois classes : le Blé sain, loyal et marchand.(46)

Les impuretés du blé retrouvées sont des graines étrangères comme d'autres céréales (avoine, seigle) ou des graines nuisibles par l'odeur (ail) ou encore des graines nuisibles par la couleur ou des graines toxiques (nielle, liseron). (46)

Nous pouvons aussi retrouver des grains de blé malades comme la rouille, le charbon ou bien l'ergot qui est très dangereux voir mortel pour l'homme. (46)

Les grains de blé peuvent être attaqués par les insectes tels que les punaises et le charançon. Mais aussi les grains de blé peuvent être cassés, l'amande n'est donc plus protégée et donc le grain peut être contaminé. (46)

Une fois cela analysé, il faut nettoyer le blé. Une séparation magnétique est mise en place, pour éliminer les résidus métalliques qui peuvent se trouver dans les graines de blé lors de la récolte. Par la suite, une séparation par calibrage, pour enlever les graines trop grosses ou trop petites. Puis un trieur à disques est utilisé pour éliminer les graines longues et les graines rondes. Et enfin, pour terminer, il y a l'épierreur qui est une machine de nettoyage destinée à séparer les grains des pierres de granulométrie équivalente.

Avant la mouture, le blé sain et nettoyé doit rester pendant 24h dans un silos de repos.(46)

II.2.2. Mouillage des grains de blé

Lors de la mouture, les grains de blé doivent être humidifié. Cette humidification est importante car elle permet de faciliter la séparation entre le son (partie périphérique) et l'endosperme interne (amande farineuse). A la suite de cette humidification, il faut brasser énergiquement le blé et le laisser reposer un certains temps pour que l'eau migre correctement à l'intérieur des grains. Lors de la mouture, c'est le taux d'hydratation qui rentre en compte, c'est essentiel pour obtenir le maximum de farine. En général, la teneur en eau est fonction de la dureté des grains, les valeurs classiques sont de 16,5% pour les grains farineux et 17,5% voir plus pour les grains vitreux. Le temps de repos est estimé de 24 à 48 heures selon la dureté. Si les grains sont très compacts, il sera favorable d'apporter une quantité d'eau un peu plus faible mais avec un temps de repos de 48 heures et de rajouter de l'eau 3 ou 4 heures avant la mouture. (47)

II.2.3. La mouture sur cylindre

La mouture comprend plusieurs étapes : le broyage, le blutage, le claquage, le convertissage et l'ensachage (figure 9 et 10). (48)

- Le broyage :

C'est une opération qui est destinée à diminuer les dimensions des grains, grâce à une énergie mécanique. Le broyage consiste à laisser passer des grains de blé entre de gros cylindres. Ces cylindres sont cannelés dont les cannelures sont de plus en plus fines. De plus ils tournent dans le sens inverse. Les multiples passages dans ces cylindres permettent de séparer l'enveloppe et l'amande. (47)



Figure 9 : Meules à grains (49)



Figure 10 : Machine à cylindre (50)

- Le blutage :

Cette opération consiste à séparer la farine du son. Après chaque passage dans les cylindres les meuniers réalisent un tamisage perfectionné à l'aide de planchister (figure11) , il s'agit d'une machine qui permet la séparation des différents finots, semoules et farine. (51) Il est composé de plusieurs tamis de tailles de maillages différentes qui permettent d'extraire les différents produits de moutures. Le taux de blutage est lié à la farine. Plus le blutage augmente, plus le taux d'extraction de la farine diminue. Cela a une incidence directe sur les qualités nutritionnelles de la farine. Le blutage modifie la teneur en amidon, protéines, lipides et en matières minérales. (47)

La correspondance de la farine est la suivante :

- Type 45 : farine très blanche, pour la pâtisserie
- Type 55 : farine blanche, utilisé en grande distribution
- Type 65 : farine blanche utilisé dans l'alimentation biologique
- Type 80 : farine bise
- Type 110 : farine semi-complète
- Type 150 : farine complète



Figure 11 : Planschister (52)

- Le claquage :

Les claquages sont des cylindres lisses qui tournent en sens inverse et pratiquement au contact l'un de l'autre. Leur vitesse différentielle est faible, elle est comprise entre 1/1,2 à 1/1,4. (47)

- Le convertissage :

C'est la dernière phase de réduction du blé en farine.

Cette étape permet d'obtenir des produits fins jusqu'à la farine. C'est l'ultime étape de passage dans une série de cylindres lisses. (47)

- Ensachage :

Une fois la farine prête, elle est mis en sac de 20kg. La farine est par la suite confiée aux boulangeries ou aux biscuiteries. (47)

II.3. La farine

II.3.1. Caractérisation des farines

Les farines se différencient par leur taux de cendre (tableau 1). Le taux de cendre correspond à la matière minérale dans la farine. Plus la farine comporte de sons, plus son taux de cendres et son type sont élevés. Les cendres sont contenues dans les sons. Le taux de matière minérale permet de classer les farines selon leur type de T45 à T150 (Cf. *tableau 1*). Le taux de cendre va être différent d'une année sur l'autre car il n'y a pas la même quantité de minéraux selon l'année et selon les parcelles. (53)

Plus le taux de cendre est élevé plus la farine est riche en minéraux c'est à dire quelle est riche en son, l'enveloppe du grain. Plus la farine est blanche, composée avec l'amande du grain, plus le taux de cendre sera faible (T45). Une autre caractérisation des farines est le taux d'extraction, c'est le rapport entre la masse de farine extraite et la masse de blé utilisée. Ce rapport est en pourcentage. Par exemple, un taux d'extraction de 75% correspond à 75kg de farine pour 100 kg de blé. En général, il y a 2kg de pertes et les 23 kg manquant forment les impuretés. (54)

Type de farine	Taux d'extraction	Taux de cendres	Description
Type 45	70 à 76%	< 0,50	Farine très blanche
Type 55	75 à 78%	de 0,50 à 0,60%	Farine blanche
Type 65	77 à 80%	de 0,62 à 0,75%	Farine crème
Type 80	80 à 85%	de 0,75 à 0,90%	Farine bise
Type 110	85 à 90%	de 1 à 1,20%	Farine demi complète
Type 150	90 à 98%	>1,40%	Farine intégrale

Tableau 1 : Classification des farines par type (55)

II.3.2. Composition chimique de la farine

Dans la composition de la farine, il y a les constituants du blé : glucides, lipides, protéines. Le pourcentage de leur composition est différent en fonction du type de farine (T45, T55, T65, T80, T110).

Pour la farine T55, qui est la farine la plus utilisée par les boulangers sa composition chimique est la suivante : (56)

- Amidon = 65 à 70%

Il fait partie de la famille des glucides complexes. Il se présente sous une forme de grains d'amidon sphériques de taille variable de 2 à 30 microns.

Il existe deux formes de grains d'amidons : les amidons entiers (80 à 85%) qui sont intacts et les amidons blessés (15 à 20%) qui ont été abimés lors de la mouture.

L'amidon joue un rôle primordial, il influence le taux d'hydratation des farines (pour un amidon entier, l'hydratation est de 33% alors que pour un amidon blessé il est de 100%).

C'est aussi une source de sucre qui est utilisée lors de l'apprêt (deuxième grande période de fermentation de la pâte), car l'amidon est formé à base de glucose.

De plus, lorsque la température atteint plus de 55°C, les grains d'amidon entiers éclatent et deviennent blessés, ce qui modifie leur pouvoir d'absorption d'eau. Ce phénomène permet le passage d'un état pâteux à un état de mie lors de la cuisson. (57)

- Matières azotées = 9 à 12%

Ce sont des protéines, en qualité et quantités variables. Elles représentent le gluten. Il y a les glutenines (75%) qui sont responsables de la ténacité et de l'élasticité des pâtes. Et les gliadines (25%) qui sont responsables du collant et de l'extensibilité. (57)

- Humidité = 15%

Selon la législation, à la sortie du moulin, elle doit être inférieure à 16% pour permettre une conservation plus longue de la farine. (57)

- Sucre = 1 à 2%

Nommé sucres préexistant, car ils sont présents de façon naturelle dans la farine. Il y a les sucres simples (ex : glucose, fructose) et les sucres composés (saccharose, maltose). (57)

- Matières minérales = 0,5 à 0,6%

Retrouvés principalement au niveau du son, leur teneur est variable en fonction du taux d'extraction de la farine. (57)

- Matières grasses = 1,3 à 1,5%

Elles proviennent du germe du blé qui a libéré une partie de son huile lors de l'écrasement. Leurs présences provoquent une mauvaise conservation de la farine. Cela entraîne un rancissement de la farine, qui engendre une acidification de la farine. De plus, cette acidification est aussi influencée par l'eau, l'air et la température. (57)

- Vitamines = B, PP, E

Elles se retrouvent essentiellement dans le germe, qui a été retiré lors de la mouture. De plus une partie de ces vitamines est détruite à la cuisson. (57)

- Acidité = 0,02 à 0,05%

La teneur en acidité de la farine dépend du temps de repos après la mouture du blé, nous parlons de « plancher ». (57)

- Matières cellulosiques, quelques traces

II.3.3. Valeur nutritionnelle

Le type de farine utilisé détermine en grande partie les caractéristiques nutritionnelles du pain (tableau 2).

	T55	T65	T80	T110	T150
	100 g				
Protéines (g)	11,5	11,6	11,8	12	12,1
Glucides (g)	71	70	69	67	61
Fibres (g)	3,2	3,5	4,8	5,6	11,5
Phosphore (mg)	120	130	175	208	320
Magnésium (mg)	28	30	50	65	105
Calcium (mg)	15	16	18	24	35
Fer (mg)	1,20	1,40	1,80	2,30	3,90
Zinc (mg)	0,90	1,10	1,60	1,90	2,90
Vit. E (mg)	0,34	0,40	0,615	0,95	2,10
Vit. B1 (mg)	0,11	0,12	0,26	0,33	0,47
Vit. B2 (mg)	0,05	0,05	0,06	0,11	0,17
Vit. B6 (mg)	0,10	0,13	0,24	0,28	0,46
Folates : Vit. B9 (ug)	16	16	22	25	50

Tableau 2 : Contenu en macro et micronutriments des principaux types de farine utilisés en France (7)

Les enveloppes du blé sont riches en fibres, antioxydants, vitamines et minéraux comme le magnésium. Les pains contenant ces éléments présentent un avantage. Leur consommation régulière est liée à une diminution des risques de cancers, de diabète de type 2 et de pathologies cardiovasculaires (Cf. partie IV.5). De plus, cette enveloppe améliore la digestion et favorise le transit intestinal. Les pains de cette catégorie sont : le pain complet, le pain au son, seigle, le pain à l'avoine, le pain au maïs, le pain multi-céréales... (7)

II.3.4. Contrôles toxicologiques sur la farine

Les blés durs sont des céréales destinées à l'alimentation humaine, et sont produits en grande quantité et à grande échelle. Leur qualité sanitaire soit être irréprochable. Malheureusement, les blés sont menacés par différentes maladies, les champignons, les rongeurs, les intempéries mais aussi par l'activité humaine : la pollution, les traitements chimiques peuvent donner des graines non commercialisables.

Est-il possible de trouver des produits dangereux dans le pain, tels que les mycotoxines, les pesticides ou des métaux lourds ?

- Les mycotoxines :

Ce sont des composés toxiques produits naturellement par différents types de moisissures. Nous les retrouvons dans les denrées alimentaires comme les céréales, les fruits secs et bien d'autres. Leur développement peut se faire avant ou après la récolte, pendant la conservation, sur ou dans l'aliment. Les mycotoxines sont stables chimiquement et résistent aux traitements des aliments. Il existe un très grand nombre de mycotoxines mais certaines sont bien connues et souvent observées et présentent un réel danger pour la santé humaine. Il y a les aflatoxines, l'ochratoxine A, la patuline, les fumonisines et la zearalénone.

Leur effet sur la santé peut être variable, il peut y avoir des effets aigus ou des effets sur le long terme. Les effets aigus provoquent des symptômes graves qui arrivent peu de temps après la consommation du produit contaminé. Certaines mycotoxines ont des effets sur le long terme et peuvent entraîner des cancers ou des déficiences immunitaires.

Les plus toxiques sont les aflatoxines qui sont produits par les *Aspergillus flavus* et *Aspergillus parasiticus*. Ces champignons se développent sur le sol, le foin et les graines. Les espèces les plus touchées par cette moisissure sont les céréales donc le blé mais aussi le riz, les graines oléagineuses (soja, tournesol), les épices et les fruits secs.

A forte dose, les aflatoxines entraînent une intoxication aigue nommé aflatoxicose, provoquant des lésions hépatiques et mettant la vie des patients en danger.

Les scientifiques ont montré une toxicité sur le long terme, cela pourrait provoquer une génotoxicité, c'est à dire qu'elles peuvent changer l'ADN et provoquer des cancers hépatiques. (58)

L'Ochratoxine A est produite par des les *Aspergillus sp* et *Penicillium sp*. Elles contaminent les céréales, les grains de café et les raisins secs. Sa toxicité peut agir sur le système immunitaire mais aussi sur la reproduction, le développement foetal. Les chercheurs n'ont pas encore clairement établi de lien sur la santé mais il semblerait qu'elle provoque des effets sur le rein.(58)

Pour réduire le risque causé par les mycotoxines les meuniers, doivent inspecter les grains entiers lors de la récolte pour voir s'il n'y a pas de moisissures. En cas de doute, il est préférable de les jeter. Il faut éviter d'endommager les grains avant et pendant le séchage, les grains abimés peuvent être plus facilement envahis par les moisissures et donc être

contaminés. Il faut conserver la farine ou les grains de blé à l'abri des insectes, dans un endroit sec et pas trop chaud ni humide.

Tout de même, en France, les céréales sont peu contaminées car les conditions de récoltes et de stockage sont de bonnes qualités. Les contrôles effectués sur les farines sont rassurants. (58)

Pourtant le 1^{er} avril 2022, Leclerc, Intermarché et Netto rappelle du pain vendu en grande quantité pour cause de toxines. Le rappel est massif et national et concerne plusieurs lots de pains vendus depuis février 2022. La cause du rappel est la présence d'alcaloïdes de l'ergot en trop grande quantité. Les valeurs étaient supérieures aux valeurs fixées par le règlement européen applicable au 1^{er} janvier 2022. (59) Les alcaloïdes de l'ergot sont des toxines produites par un champignon, le *Claviceps purpurea* du groupe des Ascomycètes, il s'agit d'un parasite du seigle et de bien d'autres céréales. Elle peut provoquer des effets indésirables sur la santé et donc elle peut présenter un risque sanitaire. (60) L'ergot de seigle contient des alcaloïdes responsables de l'ergotisme, surtout l'acide lysergique communément appelé le LSD. Il s'agit d'une drogue aux puissants effets psychotropes. Elle provoque des hallucinations à la fois visuelles, auditives, tactiles et olfactives.(61)

- Les pesticides :

Les pesticides sont un réel danger pour notre santé. Dans l'agriculture industrielle il y a 25 situations où l'utilisation de produits phytosanitaires est autorisée sur le blé. Il y a 1700 produits toxiques comme des herbicides, insecticides, fongicides. Le blé est la 4^{ième} culture la plus consommatrice de pesticides. L'utilisation des pesticides est un facteur de pollution des aliments. Mais si l'emploi des pesticides s'est autant développé ces dernières années, c'est que ces produits sont indispensables pour la production. Les pesticides permettent de protéger les cultures. Les récoltes sont donc de meilleure qualité, quantité et la conservation est meilleure. Leurs teneurs maximales de pesticides dans le blé, le son et la farine sont réglementées et ne peuvent pas être dépassées, sinon les produits ne peuvent pas être commercialisés. La détermination qualitative et quantitative des résidus de pesticides se fait grâce à des contrôles par chromatographie en phase gazeuse. (62)

Il est important de se rappeler que le pain est cuit à une température extrêmement élevée (230°C), la cuisson détruit une grande partie de pesticides. Les produits chimiques se retrouvent en périphérie du grain, donc lors du blutage ils sont éliminés. Nous pouvons en conclure que dans le pain blanc il n'y a pas de pesticides. En revanche, pour le pain complet, qui comprend le son, partie se trouvant à la périphérie du grain, il convient d'être vigilant quant à ce potentiel toxique.(62)

- Les métaux lourds :

Il est possible de retrouver des métaux lourds comme le plomb ou le cadmium dans l'alimentation.

Il est possible d'en découvrir dans le pain. Ces produits sont retrouvés principalement dans les enveloppes du grain de blé. Le pain dit complet fabriqué avec de la farine complète (T.110) contiendra plus de métaux lourds et de pesticides que le pain blanc. (63)

II.3.5. Les améliorants autorisés

Les améliorants sont des produits naturels ou de synthèse, qui permettent de corriger les défauts de certaines farines et de les rendre plus constantes en qualité ou de permettre de faciliter certains types de panifications. Les améliorants sont regroupés en plusieurs classes : les additifs, les adjuvants et les auxiliaires technologiques. Leurs distinctions se font grâce à leurs propriétés. Les additifs sont des substances ajoutées à un produit pour le modifier. Les adjuvants sont des produits que les boulangers ajoutent pour améliorer certaines propriétés (tableau 3).

Les auxiliaires technologiques sont des substances, non consommées comme ingrédients alimentaires en soit, utilisés lors de traitement ou lors de transformation de matières premières. C'est l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) qui assure leur évaluation avant la mise sur le marché. La réglementation française est très stricte en matière d'améliorants alimentaires. Il existe des listes dites « positives » qui correspondent aux substances autorisées. (64)

La majorité des améliorants sont introduits dans les farines au niveau de la meunerie.

La liste des principaux améliorants autorisés en meunerie est la suivante :

- Acide ascorbique = E300 → Additif
- Glucose-oxydase = auxiliaire technologique
- Levure désactivée = adjuvant
- Cystéine = E920 → additif
- Farine de fève ou de soja = adjuvant
- Les émulsifiants =
 - Monoglycérides = E471 → additif
 - Diglycérides = E472 → additif
 - Ester diacétyltartrique de monoglycéride = E472e → additif
 - Lécithine de soja = E322 → additif
- Produits enzymatiques d'hydrolyse =
 - Farine de malt → adjuvant
 - Amylases fongiques → auxiliaires technologiques
 - Hémicellulose → auxiliaire technologique
 - Lipases → auxiliaires technologiques
- Gluten → adjuvant
- Conservateurs
 - Acide sorbique et sorbate = E200 → additif
 - Acide propionique et propionates = E280 à 283 → additif
 - Acide acétique et acétates = E260 à 263 → additif
 - Acide lactique et lactates = E270, 325 à 327 → additif
 - Acide citrique = E330 → additif

Par exemple, pour la baguette tradition française il est interdit d'y retrouver des additifs. En revanche, des auxiliaires ou des adjuvants comme le gluten peuvent y être rajoutés pour donner un meilleur aspect du pain (tableau 3). (64)

Les produits correcteurs

Pour le Pain de Tradition Française

NOM	PARTICULARITE	DOSAGE	CONSEQUENCES
Gluten	Ajouvants		Améliore la Force
Malt	Ajouvants	Inférieur à 0,3 %	Active la fermentation Coloration au four
Farine de Fève	Ajouvants	Inférieur à 2 %	Blanchissement des pâtes
Farine de Soja	Ajouvants	Inférieur à 0,5 %	Blanchissement des pâtes
Amylases Fongiques	Auxiliaire Technologique		Active la fermentation

Pour le Pain Courant Français

L'ENSEMBLE DES CORRECTEURS AUTORISES POUR LE PAIN DE TRADITION FRANÇAISE + 14 ADDITIFS	
Acide Ascorbique (E 300) + 3 dérivés	Force / Tolérance / Volume / Grignes
Lécithine de Soja (E 322)	Machinabilité des pâtes / Volume
Monos et Diglycérides d'Acide Gras (E 471)	Cloquage des pains / Volume
Acide Acétique (E 260) + 3 dérivés	Pain Filant
Acide Lactique (E 270) + 3 dérivés	Pain Filant

Tableau 3 : Les produits correcteurs retrouvés dans une baguette tradition et dans un pain courant (7)

III. Le pain blanc / le pain complet

Maintenant, nous allons décrire la fabrication du pain. Nous ne parlerons que de la fabrication artisanale.

III.1. Les ingrédients

◆ La farine

La farine est l'ingrédient majoritaire du pain. Le boulanger reçoit généralement la farine une fois par semaine. Lors de la livraison, il vérifie au hasard la masse d'un sac et les caractéristiques de la farine (vue, toucher, goût et l'odeur). Un sac de farine pèse 20 kg.

Le stockage doit se faire dans un endroit propre, sec et aéré pour éviter les moisissures et les insectes comme les vers ou les mites. (65)

◆ L'eau

L'eau est, après la farine, l'ingrédient le plus important. Son rôle est majeur dans la fabrication du pain.

En boulangerie, l'eau doit être obligatoirement potable, il faut effectuer plusieurs traitements comme la décantation, la filtration, la traiter par le charbon actif, la stériliser par chloration et ozonisation. Les boulangers peuvent aussi utiliser des adoucissants pour retirer le calcaire ou des osmoseurs pour enlever les nitrates. Des études ont montré que les eaux ayant un degré d'hydrotimétrique inférieur à 30 sont les plus adaptées à la fabrication du pain. C'est grâce au degré hydrotimétrique (teneur en calcium) que la qualité de l'eau est déterminée. Il existe trois classes, celle inférieure à 30, celle comprise entre 30 et 60 et celle supérieure à 60. Seules les eaux ayant un degré inférieur à 30 sont potables. Les autres eaux sont considérées comme des eaux dures ; elles sont moins digestes car elles sont riches en carbonate de chaux ou en sulfate de chaux ou plâtre.(66)

L'eau hydrate la farine, elle provoque le gonflement des grains d'amidon et l'assouplissement du gluten. Cela donne à la pâte ses propriétés de plasticité. La présence d'eau est nécessaire pour développer la fermentation alcoolique. L'effet positif de l'hydratation des pâtes permet une meilleure aptitude à la conservation. De plus, l'alvéolée est plus irrégulière mais les pâtes trop hydratées sont plus difficiles à travailler car elles collent, elles sont fragiles.(66)

◆ Le sel

Le sel est un produit naturel appelé « chlorure de sodium ». En chimie, il est noté NaCl. Il est extrait à partir de l'eau de mer, c'est un minéral qui est indispensable car il est riche en oligo-éléments, il permet de fixer l'humidité de notre corps et donc d'empêcher une déshydratation. De plus, il a des propriétés antiseptiques qui régulent les réactions biologiques de notre corps. En revanche, en France la consommation de sel est excessive ce qui provoque des troubles cardio-vasculaires.

Le sel est important dans le pain car il permet d'améliorer sa saveur, le sel est un exhausteur de goût. De plus, il raffermi la pâte en fixant l'eau ce qui la rend plus malléable. Il joue un rôle avec le gluten, améliorant la qualité plastique de la pâte. Le sel a plusieurs propriétés, c'est un antioxydant et un antiseptique. L'effet antioxydant ralentit le blanchissement des pâtes au pétrissage et l'effet antiseptique ralentit et régule la fermentation des pâtes. Pour terminer, le sel influence, sur la coloration de la croûte lors de sa cuisson. (67)

◆ La levure

La levure est un produit naturel. C'est un être unicellulaire de forme plus ou moins sphérique. Dans la nature il existe plusieurs variétés de levure. Mais nous allons nous intéresser à l'espèce de levure sélectionnée pour la boulangerie qui est : *Saccharomyces cerevisiae*. C'est un champignon Ascomycète ubiquitaire, retrouvé chez l'homme sous forme commensale.

Elle est capable de produire un maximum de CO₂ et d'alcool éthylique en un maximum de temps. De plus, elle est capable de travailler dans un milieu pâteux à des températures proches de celles des boulangeries.(68)

Sa composition chimique est la suivante : (68)

- * Eau 70%
- * Glucides 13%
- * Protides 12%
- * Matières Minérales 2%
- * Lipides 0,5%
- * Vitamines B, PP, E

◆ Le levain

C'est un ingrédient avec de nombreuses vertus mais il est très mystérieux. Nous pouvons le comparer à la levure, ses propriétés sont similaires mais son odeur est caractéristique, il sent le vinaigre.

Le levain est fait à partir de farine et d'eau. Une fois mélangé, il faut le laisser reposer quelques heures (environ dix heures). Des bulles vont apparaître à la surface. Ensuite, il faut encore nourrir cette pâte en y incorporant de la farine et de l'eau mêlée. Le mélange de farine et d'eau favorise les micro-organismes. Il y aura des bactéries lactiques et des levures qui vont transformer le glucose en éthanol et en dioxyde de carbone, tout ça en absence d'oxygène. (69)

L'intérêt du levain, c'est qu'il dégrade l'acide phytique présent dans les céréales. Habituellement, cet acide diminue l'assimilation des minéraux dans l'organisme. Le levain permet donc un meilleur apport en fer, zinc et magnésium. (69)

III.2. La fabrication du pain : fabrication artisanale

La fabrication du pain comprend plusieurs étapes successives :

- * Le pétrissage,
- * La fermentation,
- * Le « boulage » ou préformation,
- * Le façonnage = mise en forme,
- * La cuisson.

Dans cette partie, je vais comparer deux pains totalement différents, le pain blanc, appelé aussi pain ordinaire (farine T55) et le pain complet (farine T.110).

Nous verrons qu'ils sont différents par leurs goûts, leurs farines mais surtout par leurs valeurs nutritionnelles.

III.2.1. La panification du pain blanc

Plusieurs étapes sont nécessaires pour obtenir du pain blanc :

1. Le pétrissage (70)

La première opération est le pétrissage, il s'agit de mélanger différentes matières premières : la farine, pour la pain blanc les boulangers utilisent de la T55, eau, le sel et le levain ou la levure. Actuellement, le pétrissage à bras est abandonné, c'est un pétrin mécanique que les boulangers utilisent. Le pétrissage mécanique comprend plusieurs parties :

- Le frasage : permet de mélanger correctement les ingrédients (eau et farine), la pâte doit être homogène.
La vitesse est plutôt lente et la durée est comprise entre 3 et 5 minutes.
- L'autolyse : processus qui permet d'assouplir le gluten. Il permet d'améliorer le lissage de la pâte, le façonnage. Cela consiste à laisser reposer la pâte (uniquement eau et farine, absence de sel, levure) entre 20 minutes à plusieurs heures.
- Le découpage – Etirage – Soufflage : aussi appelé deuxième phase du pétrissage. Ces trois phases ont lieu simultanément. Elles se réalisent en vitesse rapide (deux fois plus vite que la lente). Ceci permet de contribuer au développement du réseau glutineux, à la structure de la pâte, à l'entrée d'air et à l'augmentation le volume du pain.

Lors du pétrissage le boulanger peut rajouter de l'eau ou de la farine en fonction de la texture de la pâte.

- Le bassinage est le fait de rajouter de l'eau pendant le pétrissage si la pâte est trop raide.
- Le contre frasage est l'action de rajouter de la farine lors du pétrissage si la pâte est trop douce.

Il existe plusieurs méthodes de pétrissage (le lent, l'amélioré et l'intensifié) qui vont directement influencer la qualité des pâtes. Ces différentes méthodes sont influencées par la vitesse et le temps de pétrissage.(70) (71)

2. La fermentation

En boulangerie, la fermentation panaire correspond à une fermentation alcoolique.

Dans un milieu anaérobie sans air, les levures produisent une fermentation alcoolique. Le maltose retrouvé dans la pâte, pénètre dans les cellules de levure où va se dérouler la transformation du maltose en glucose. La fermentation du glucose par la zymase (enzyme qui détermine la fermentation alcoolique du glucose) de la levure produit du dioxyde de carbone et de l'alcool éthylique. Plus précisément, le maltose entre dans la cellule de levure, le maltose est coupé en deux glucoses grâce à la maltase (enzyme). Par fermentation, il y aura une libération de CO_2 , d'alcool et de chaleur (figure 12). (72)

1) Le maltose entre dans la cellule

2) Le maltose est coupé en deux glucose grâce à la maltase

3) Par fermentation le glucose donne du CO_2 , de l'alcool et de la chaleur

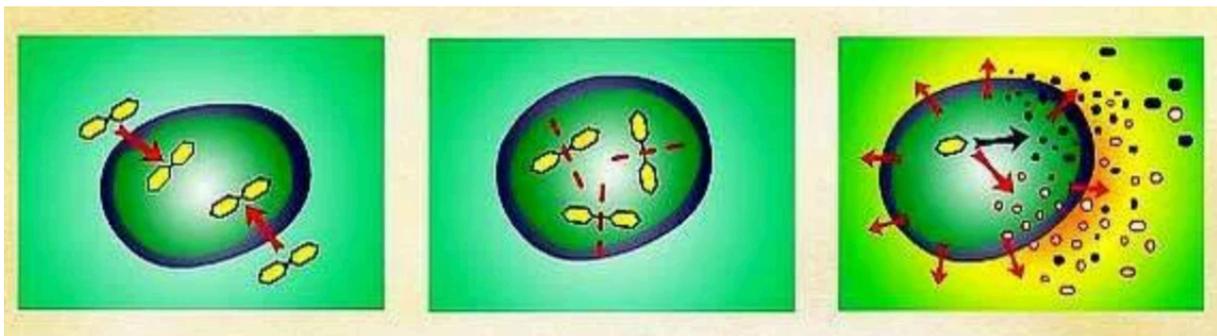


Figure 12 : Transformation du maltose par la cellule de levure.(72)

Dans un milieu aérobie, avec de l'air, la levure respire, l'énergie utilisée permet de se reproduire. Les cellules de levure se multiplient, ce processus est réalisé quand le boulanger fait un rabat de pâte. Cela permet d'augmenter la force de la pâte.(72)

Quels sont les mécanismes de la fermentation ?

Tout d'abord, plusieurs acteurs rentrent en œuvre : les sucres (maltose et glucose) et les enzymes (amylase et maltase). L'amylase est retrouvée à l'état naturel dans la farine. La maltase est l'enzyme qui découpe le maltose en deux molécules de glucose (sucre simple).

L'amidon de la farine, en présence d'eau, va être dégradé par les amylases en un sucre plus simple qui est le maltose. Cette transformation est nommée l'amylolyse ou hydrolyse de

l'amidon. Par la suite, le maltose va être découpé par la maltase (enzyme) en molécules de glucose.(72)

Pour résumer :

AMIDON → MALTOSE → GLUCOSE →LEVURE

Y a-t-il des facteurs qui influencent l'activité fermentaire et la fermentation panaire ?

L'activité fermentaire et la rapidité de formation du gaz carbonique peuvent être influencées par : (72)

- La température : la température de l'eau et de l'air ambiant sont importantes et doivent être comprises entre 22 et 23 °C.
- Le taux d'hydratation de la farine
- L'apport en malt ou non
- Le dosage de la levure

3. Le « boulage » ou préformage

Cette étape consiste à donner une forme sphérique à la pâte. Elle peut se faire à la main ou avec une machine, une bouleuse. L'intérêt du « boulage » est de restructurer le réseau glutineux et d'augmenter plus ou moins la force des pâtons. Le « boulage » ou préformage permet d'éviter de déchirer le réseau glutineux. Si la force est importante, le pâton est préformé pour faciliter l'allongement lors du façonnage.

Le préformage consiste à pré-allonger le pâton, en lui donnant une forme sphérique, peu serrée. C'est la dernière manipulation durant laquelle le boulanger peut corriger l'évolution de la plastique de la pâte. (73)

4. Le façonnage

C'est le moment où le boulanger peut donner la forme finale au pâton. Cela peut se réaliser manuellement ou mécaniquement. Il est important de manipuler le pâton avec dextérité et délicatesse sans le déchirer ni l'écraser. (73)

5. La cuisson

Juste avant d'enfourner, le pâton doit être « lamé » c'est à dire que le boulanger utilise une lame coupante et incise sur le sommet. Ce qui crée des faiblesses dans la croûte du pain. Ainsi, lors de la cuisson, la vapeur d'eau et le CO₂ vont s'échapper et permettre au pain de bien gonfler. (73)

La cuisson résulte d'un échange de chaleur entre l'atmosphère du four et le produit à cuire. La cuisson permet des transformations physico-chimiques de la pâte sous l'action de la chaleur. Cela permet une meilleure aptitude à la conservation, une meilleure digestibilité et une qualité organoleptique. (73)

Généralement le pain est cuit à la buée, elle permet aux pâtons d'avoir un plus grand volume, une plus jolie couleur et une belle croûte. A la surface du pain, nous observons un

durcissement nommé la « croûte », d'une couleur jaune doré, plutôt brillante. Il s'agit de la « réaction de Maillard » qui désigne un ensemble complexe de réactions, donnant des pigments bruns ou noirs. Ce sont tous simplement des mélanoidines qui donnent la couleur dorée au pain. Les mélanoidines sont des polymères hétérogènes bruns de haut poids moléculaires qui se forment lorsque les sucres et les acides aminés s'associent à des températures élevées (74)

Le pain cuit à une température de 250°C. L'activité de la fermentation joue un rôle jusqu'à ce que la chaleur atteigne 45 à 50°C. A 60°C l'amidon se gélifie cela donne un empois, le gluten coagule et forme un squelette rigide.

Une cuisson dure entre 25 à 45 minutes, cela dépend de la forme et de la taille des pains. (73)

III.2.2. La panification du pain complet

Le pain complet doit être réalisé entièrement avec de la farine complète T110 (farine constituée du son du blé). La farine complète est riche en micronutriments, retrouvé dans l'enveloppe du blé. Souvent les boulangers utilisent du levain et non de la levure chimique. La présence de son dans la farine rend la fabrication légèrement différente. Les qualités plastiques de la pâte sont modifiées et la fermentation est plus active. (75)

Les modifications sont différentes en fonction du taux d'extraction :

- 80% d'extraction absence de modifications par rapport au pain ordinaire. La fermentation est plus active.
- Entre 80 et 85% d'extraction, le boulanger doit diminuer la dose de levure/ levain, l'eau doit être plus froide pour permettre une fermentation plus lente. Le pain est volumineux, la mie est aérée.
- Plus de 85% d'extraction, la qualité physique de la pâte diminue, l'activité fermentative augmente encore. Le boulanger obtiendra un pain lourd, moins développé, la mie sera serrée et humide.

Pour conclure, le pain complet sera beaucoup plus dense que le pain blanc car le son contient des enzymes, qui font diminuer l'élasticité et empêcher le pain de correctement lever. (75)

III.3. Valeur nutritionnelle du pain

Longtemps accusé de faire prendre de la masse, le pain, reprend sa place aujourd'hui. Selon les nutritionnistes, le pain est, en effet, le seul produit pratiquement parfait pour l'alimentation humaine. Consommé en quantité raisonnable, il apporte des glucides, des fibres alimentaires et des nutriments indispensables au fonctionnement de l'organisme.(76)

Le pain est un aliment énergétique. Plus le taux d'extraction diminue plus l'apport calorique du pain augmente. Cela signifie que le pain complet (T150) est moins énergétique que le pain blanc (T55).(76)

Le pain est principalement constitué à base de farine, source de glucides complexes (55% de glucides dans le pain). Les glucides sont les premiers fournisseurs d'énergie pour les cellules du corps humain. Les cellules musculaires, cardiaques, cutanées et même nerveuses utilisent les glucides comme un véritable carburant. C'est donc important de consommer une quantité raisonnable de glucides chaque jour, si ce n'est à chaque repas.(76)

Les teneurs en fibres alimentaires sont non négligeables dans le pain. Le pain blanc contient moins de fibres que le pain complet car il y a une absence de son. Donc les pains complets et/ou à base de graines sont plus riches en fibres. Les fibres favorisent la digestion et le transit intestinal. Elles aident en particulier à lutter contre la constipation. De plus, les fibres ont un effet de satiétogène, cela permet un meilleur contrôle de la prise d'aliment. (77) (78)

Le pain fournit aussi des protéines. Mais leur valeur est négligeable. Le pain manque d'acides aminés indispensables comme la lysine. Mais cet acide aminé est retrouvé dans la viande ou le lait.

De plus, dans le pain nous retrouvons des lipides qui ont un intérêt nutritionnel dans notre alimentation. Dans 100g de pain, il y a 1g de lipides. Nous y retrouvons l'acide linoléique qui est un acide gras indispensable et qui intervient dans la fabrication de la membrane cellulaire. Mais la farine de blé est mélangée à de la farine de fève qui entraîne une disparition complète de l'acide linoléique sous l'action de la lipooxygénase. (78)

Les minéraux retrouvés dans le pain varient en fonction du taux d'extraction (pour 85% d'extraction il y a la moitié des matières minérales du blé et pour 75% d'extraction il y a seulement un quart). Les minéraux sont principalement dans la couche périphérique du grain de blé. (78)

Le pain est pauvre en calcium mais riche en phosphore. Un apport trop important en phosphore est souvent asymptomatique chez une personne en bonne santé. Mais si une personne souffre de dysfonctionnement rénal, le patient peut être à l'origine de maladies cardiovasculaires (favorise la calcification des artères, qui vont devenir rigides et peuvent se boucher). De plus, l'hyperphosphorémie augmente la parathormone (PTH) et empêche la vitamine D d'agir correctement. (78) Les apports en fer et en magnésium sont modestes.

Les principales vitamines retrouvées dans le pain sont des vitamines du groupe B : thiamine, niacine et riboflavine. Ce sont des vitamines hydrosolubles. Ce sont des précurseurs de coenzymes impliqués dans le métabolisme cellulaire. La teneur dépend du taux d'extraction des farines. (78)

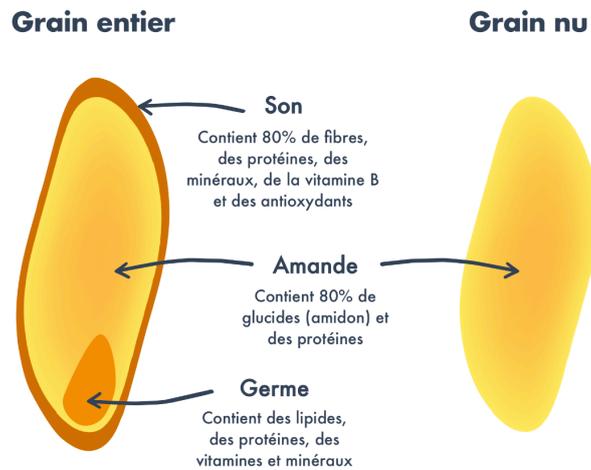


Figure 13 : Différence entre un grain entier (farine complète pour un pain complet) et un grain nu (farine blanche pour un pain blanc) (79)

Pour 100g	Pain blanc	Pain complet
Calories	265	244
Glucides	54g	44,3g
Fibres	4,2g	6,9g
Matières minérales	0,33g	1,8g
Protéines	9,4g	9,2g
Thiamine (V.B1)	0,13mg	0,11mg
Niacine (V.B3 ou PP)	1,66mg	0,1mg
Fer	1,3mg	2,1mg
Potassium	178mg	240mg
Phosphore	140mg	180mg
Magnésium	33mg	51mg
Zinc	1,2mg	1,4mg

Tableau 4 : Comparaison entre le pain blanc et le pain complet (78)

Pour conclure, grâce au tableau on se rend compte que le pain complet est plus riche que le pain blanc. Tout ceci s'explique par la présence de son dans la farine, qui renferme tous les minéraux, fibres qui sont bon pour notre santé (figure 13 et tableau 4).(78)

IV. L'impact du pain sur la santé

De la farine, de l'eau, du sel, du levain ou de la levure. Le pain accompagne la plupart de nos repas et c'est le pilier de notre alimentation. C'est un symbole.

Mais quand est il pour notre santé ?

IV.1. Constituant principal du pain : l'amidon

IV.1.1. Qualité nutritionnelle de l'amidon

IV.1.1.1. Les grains d'amidon

L'amidon est un des polysaccharides les plus importants de l'alimentation humaine. Nous le retrouvons dans des végétaux comme les céréales, les légumineuses, les fruits ou bien les tubercules.

La forme du grain d'amidon peut varier en fonction de sa provenance. Dans les céréales, il y a entre 30 et 70% d'amidon.

L'amidon est utilisé comme un gélifiant, un épaississant ou comme matière sucrante.

D'un point de vue morphologie, macroscopiquement, il ressemble à une poudre blanche. En revanche, au microscope nous pouvons voir des petits grains dont la taille peut varier en fonction de la source botanique (entre 2 et 100micromètre) (figure 14) .(80)

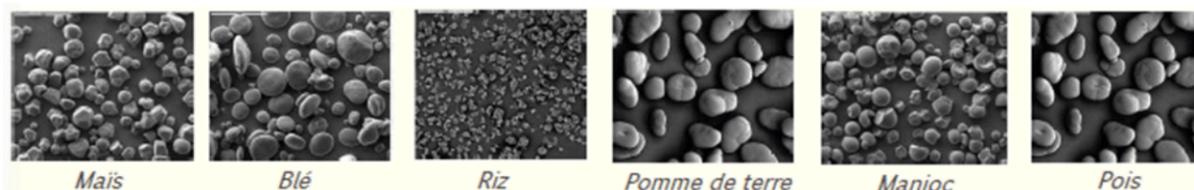


Figure 14 : Différents aspects de grains en fonction des échelles observées en MEB (80)

L'amidon est constitué de deux zones bien distinctes : une partie amorphe et une partie cristalline. Dans la partie amorphe nous retrouvons de l'amylose qui est un polymère. Elle représente entre 10 et 30% de la masse de l'amidon.(80)

Dans l'espace, l'anométrie α entraîne un angle de 90° entre deux glucopyranoses ce qui induit une conformation hélicoïdale avec 6 à 7 glucoses par tour de spire, stabilisée par des liaisons hydrogène. Le polymère d'amidon est linéaire de l' α -D-glucose. Les monomères sont reliés entre eux par des liaisons $\alpha(1,4)$. Il y a plusieurs centaines de monomères par molécules d'amylose. Son poids moléculaire est d'environ 500 000 Da. De plus, l'amylose est hydrolysée par une enzyme, l' α -amylase qui coupe les liaisons $\alpha(1,4)$ (figure 15).(80)

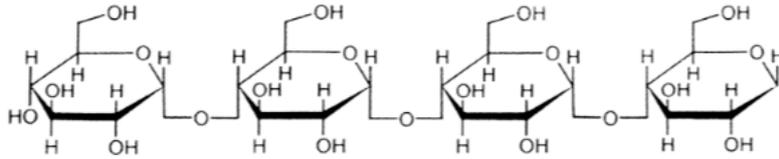


Figure 15 : Composition chimique de l'amylose (81)

L'autre partie de l'amidon est constituée d'amylopectine, qui représente entre 70 et 85% de la masse de l'amidon. A la différence de l'amylose, l'amylopectine est un polymère ramifié et non linéaire de l' α -D-glucose. Il comprend des liaisons $\alpha(1,4)$ comme l'amylose mais aussi des liaisons $\alpha(1,6)$ ce qui donne cet aspect ramifié. Nous observons des liaisons $\alpha(1,6)$ tous les 20 à 30 résidus. Son poids moléculaire est plus élevé, il peut atteindre jusqu'à un million. Cette molécule est hydrolysée par les α -amylases et par des isomaltases qui coupent les liaisons $\alpha(1,6)$ (figure 16). (82)

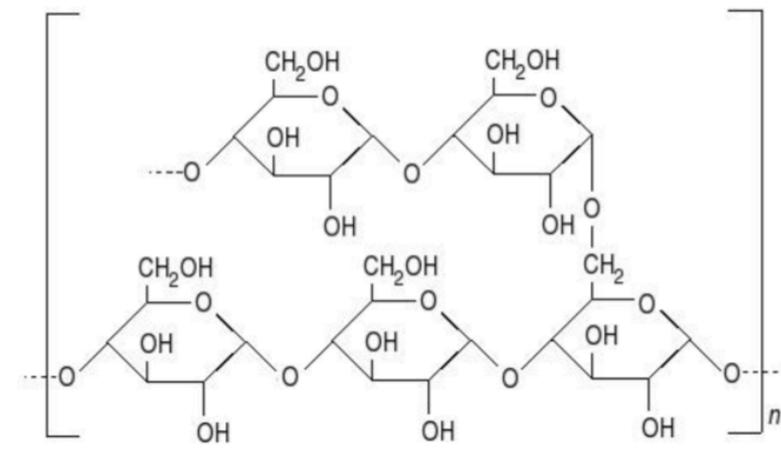


Figure 16 : Structure chimique de l'amylopectine(83)

Dans l'amidon de blé, nous retrouvons 28% d'amylose et 72% d'amylopectine.(80)

Pendant la panification, l'amidon subit des modifications. Lors de la fermentation, les enzymes de la levure et les amylases de la farine vont hydrolyser les glucides. Cela permet la production d'alcool et de gaz carbonique. Lors de la cuisson, l'amidon qui était présent, va se transformer en dextrine qui est obtenu par la chaleur (160°C). Des dextrines se forment dans la croûte du pain pendant la cuisson. Cela permet de donner la couleur et l'odeur du pain. De plus, pendant la cuisson, l'amidon est chauffé et hydraté ce qui donne un aspect visqueux. Il s'agit de « gélatinisation de l'amidon ». Une fois le pain sorti du four, la température redescend, l'amidon refroidit, nous parlons d'amidon « rétrogradé », il reprend une structure presque identique à celle avant la cuisson. (84)

La digestion de l'amidon

La digestion de l'amidon commence dans la bouche pendant la mastication, grâce à une enzyme que nous retrouvons dans la salive : l'amylase salivaire (figure 17). Cette enzyme est sécrétée par les glandes salivaires. Cinquante pourcent de l'amidon peut être digéré avant d'arriver dans l'intestin. (85)

Il existe deux sortes d'amylases dans l'organisme : l'amylase salivaire et l'amylase pancréatique produite par les cellules du pancréas exocrine. Une fois l'amidon avalé, il va se diriger vers l'œsophage puis il va dans l'estomac où il est stoppé par l'acidité. Mais sa décomposition reprendra dans le duodénum qui est la première partie de l'intestin grêle. Cela peut avoir lieu grâce à l'action des amylases pancréatiques. L'amylase pancréatique est une enzyme digestive produite par les glandes pancréatiques et active au sein du suc pancréatique. Cette enzyme est essentielle dans la digestion des glucides. L'amylase pancréatique réalise la digestion en 10 minutes.(86,87) Plus précisément, l'amylase pancréatique est une saccharidase, c'est à dire qu'elle est capable de couper les liaisons glycosidiques de type $\alpha(1,4)$ liant les sucres entre eux. (86)

Une fois l'amidon dans le duodénum, l'amylase pancréatique prend en charge le restant de polysaccharides ayant échappé à l'action de l'amylase salivaire. Ces polysaccharides sont donc hydrolysés en dextrines puis en maltoses. Les dextrines issues de l'activité enzymatique de l'amylase salivaire vont elles aussi être transformées en maltose.

Le maltose est un disaccharide. Il est formé de deux molécules de glucose. A l'état naturel, il est très courant. Il est retrouvé dans le malt ou lors de l'hydrolyse enzymatique de l'amidon. Lors de la digestion, le maltose est scindé en deux molécules de glucose au niveau du pancréas grâce à une enzyme : le maltase. Le maltose est un sucre assimilé assez rapidement dans l'organisme. A la fin de la digestion, normalement, il n'y a plus la présence d'amidon dans l'intestin grêle. (86) (88)

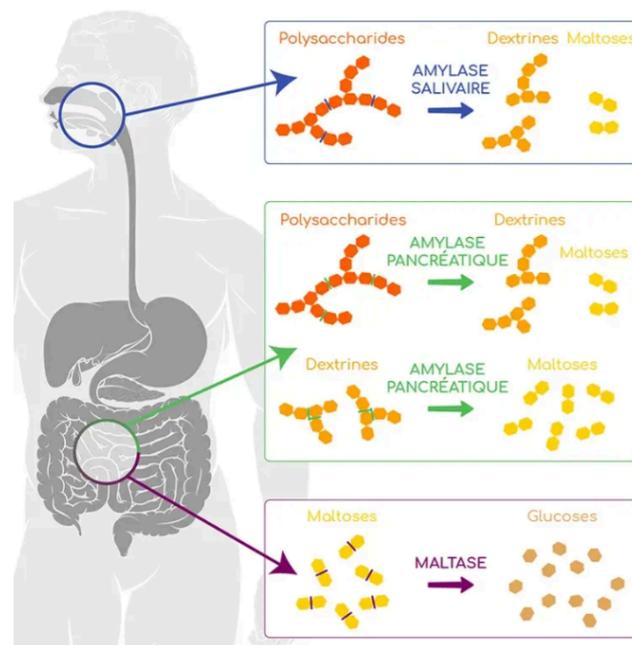


Figure 17 : Rôle de l'amylase salivaire et pancréatique dans la digestion des glucides(86)

Mais l'amidon est-t-il vraiment totalement absorbé par l'organisme ?

Certaines personnes peuvent être atteintes de problèmes de digestion causés par des malabsorptions des sucres au niveau de l'intestin (amidon, lactose). Des laboratoires ont mis au point des tests respiratoires à l'hydrogène ou breath test (figure 18). Ceci consiste à diagnostiquer des troubles causés lorsque les sucres alimentaires ne sont pas digérés normalement. Le test consiste à détecter la présence et la quantité d'hydrogène dans l'air expiré. En France, ce test est essentiellement réalisé au CHU, avec une ordonnance d'un gastro-entérologue.(89) C'est un test simple et non invasif. Le médecin peut prescrire un test en cas de divers symptômes digestifs comme : les ballonnements, les flatulences, des troubles digestifs (diarrhée, vomissement) ou en cas de douleurs abdominales. Le test doit se dérouler à jeun. Les deux jours avant le test, il est déconseillé de manger certains aliments. Le jour du test, il faut ingérer à jeun une petite quantité de sucre, soit 25 grammes de lactose dilués dans de l'eau. Le test peut aussi être réalisé avec du fructose ou du glucose. (89) Ensuite, il faut souffler dans un appareil qui a un embout. Il faut souffler toutes les 20 à 30 minutes pendant environ 4 heures. Ceci est assez long, car il faut mesurer l'évolution de la quantité d'hydrogène contenue dans l'air expiré. En fonction du résultat, un traitement ou une stratégie nutritionnelle sera mis en place. (90)



Figure 18 : Appareil pour réaliser le test à l'hydrogène expiré(90)

IV.1.1.2. L'impact glycémique ou index glycémique (IG)

Tout d'abord, l'index glycémique permet de classer les aliments en fonction de l'effet hyperglycémiant par rapport à des glucides de référence. Les glucides de références sont soit le glucose soit l'amidon du pain blanc. Le glucose a un IG élevé (> 75), le saccharose un IG intermédiaire (entre 50-74) et le fructose un IG bas (<50).

Lorsque nous avons un régime riche en aliments ayant un IG élevé, il y a un risque de prise de poids. Le fait de prendre du poids va entraîner des réserves en graisse et le diabète de type 2 peut plus facilement se développer ainsi que certaines maladies cardio-vasculaire. Il est donc important, de manger des aliments avec un IG faible car ça pourrait avoir un intérêt dans la prévention du diabète de type 2. Le pain contient de l'amidon. C'est un glucide complexe, car il est constitué d'une chaîne de sucres. Les glucides sont sources de glucose nécessaire à notre bon fonctionnement de notre organisme. Lors une cuisson ou d'un refroidissement l'amidon peut devenir plus « gélatineux » (en présence de chaleur) ou « retrogradé » lors du refroidissement. (91)

Cela a-t-il un rôle sur l'impact glycémique de nos aliments et en particulier le pain ?

Les effets de l'amidon sur l'organisme dépendent de la proportion d'amylopectine et d'amylose. Plus la teneur en amylose est importante plus l'IG est bas. Pour les céréales, il y a environ entre 15 à 30% d'amylose. De plus, les traitements hydrothermiques (en industrie) changent la structure de l'amidon. Ces traitements rendent l'amidon plus facilement hydrolysable par les amylases. Donc l'IG est plus élevé car l'amidon est gélatinisé par l'effet de la chaleur. Le pain de mie aura donc un IG élevé.

En revanche, chez notre artisan boulanger le fait de transformer la farine en pain ce que nous nommons la panification, permet de diminuer l'IG en limitant l'action des amylases. Cependant, il est important de tenir compte des autres facteurs qui rentrent en jeu lors d'un repas à savoir les glucides, les lipides et les protéines. Ceci atténue le pic hyperglycémique postprandial (figure 19)

De plus, au niveau de l'intestin grêle, la valeur énergétique de l'amidon est de 3,72kcal/g de glucose. Lorsque l'amidon a fermenté au niveau du colon sa valeur énergétique est comprise entre 2,15 et 2,35 kcal/g. (91)

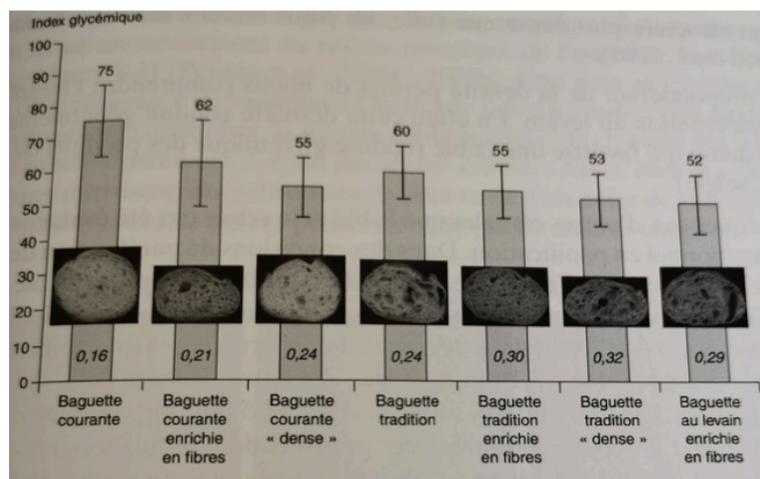


Figure 19 : Index glycémique mesuré pour différents type de baguettes (92)

Les mesures d'IG ont été réalisées sur 12 volontaires sains selon un protocole décrit par Rizkalla. Les chiffres en noirs et en italiques sous les images des baguettes correspondent à la densité des produits.

IV.2. Les fibres alimentaires

Les fibres alimentaires sont divisées en deux groupes, en fonction de leurs propriétés chimiques et de leurs qualités nutritionnelles. Il existe les fibres alimentaires solubles ou insolubles que nous retrouvons chez les végétaux. L'homme ne peut pas les digérer donc leur apport énergétique est faible. Mais elles jouent tout de même des rôles importants dans la digestion. (93)

IV.2.1. Classement des fibres alimentaires

Nous pouvons classer les fibres alimentaires en fonction de leur solubilité dans l'eau. En présence d'eau, elles vont gonfler. Les fibres peuvent soit se dissoudre soit rester insolubles. (93)

- Les fibres solubles :

Comme leur nom l'indique, elles sont solubles dans l'eau. Elles sont retrouvées dans les végétaux comme dans les fruits et dans les légumes. Ce sont principalement les pectines, les gommes ou bien les oligosaccharides. (93)

Lorsque les fibres sont en contact avec des lipides, elles sont visqueuses. Cela permet donc de ralentir l'absorption des graisses, du mauvais cholestérol et des triglycérides. Les fibres solubles jouent donc un rôle dans la prévention des maladies cardiovasculaires. Les fibres solubles ont aussi l'avantage de diminuer l'absorption des glucides et donc de freiner la glycémie. Ces fibres sont donc importantes dans la prévention du diabète de type 2. (94)

De plus, elles réduisent les troubles digestifs et préviennent les diarrhées. Enfin, comme elles diminuent la digestion, elles prolongent la sensation de satiété et permettent de mieux contrôler sa prise de poids. Mais il est important de se rappeler que ces fibres sont solubles dans l'eau donc il est primordial de consommer une quantité suffisante d'eau, au moins 6 verres par jour. (94,95)

- Les fibres insolubles :

Ces fibres sont plutôt retrouvées dans l'enveloppe des végétaux comme par exemple dans le son du blé tel que le pain complet ou les pains à base de graines. Les plus connus sont la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Elles ne sont pas solubles dans l'eau et leur pouvoir de gonflement est très élevé. Les fibres alimentaires augmentent le volume des selles et accélèrent le transit intestinal en stimulant le tube digestif, elles ont un effet laxatif. Mais elles jouent aussi un rôle dans la prévention de la constipation et de ses effets : les hémorroïdes. Elles ont aussi une influence sur le contrôle de l'appétit et donc du poids. Ces fibres aident à se sentir rassasié. (93) (96)

Leur origine est variable, elles sont présentes dans les céréales ou les produits céréaliers comme le son de blé, la farine de blé complet. Mais il y en a aussi dans les fruits comme les noix, les abricots et les pruneaux et dans certains légumes comme les haricots secs ou les

lentilles. A la différence des céréales, les fruits et les légumes contiennent beaucoup de cellulose et de pectine.

En proportion, les céréales sont moins hydratées que les fruits et les légumes, donc les céréales possèdent une quantité de fibres plus grandes que les fruits et les légumes (tableau 5). (93) (96)

Son de blé	42
Graine de lin moulue	27
Son d'avoine	25
Pruneau	15
Figue sèche, graines oléagineuses	10
Pain complet	8
Pois chiche, petit pois, lentille	4
Riz complet	2
Légumes (moyenne)	1-4
Fruits frais (moyenne)	1-2,5

Tableau 5 : Quantités de fibres alimentaires en gramme dans différents aliments, pour 100g d'aliments (96)

IV.2.2. Les propriétés physiques et chimiques des fibres alimentaires

- Les fibres alimentaires produisent des acides gras volatils (AGV). Appelez aussi d'acide gras à chaîne courte (AGCC). Cette production se réalise par la dégradation des fibres dans le côlon. Cette dégradation est possible grâce à des enzymes bactériennes. La dégradation est presque complète pour les hémicelluloses environ 85% et 15% pour la cellulose. En revanche pour la lignine la dégradation est nulle. Les acides gras volatils concernés sont l'acide acétique, l'acide propionique et l'acide butyrique. Ces trois acides gras ont un effet dépuratif. Ils vont renforcer l'action laxative des fibres. Les AGCC ont des effets sur le tractus gastro-intestinal qui influent sur la santé de l'intestin. (Cf. 4.1.2.3 Les propriétés physiologiques des fibres alimentaires). (97)
- Les fibres alimentaires ont la capacité d'absorber l'eau. Cette absorption d'eau est rendue possible grâce au pouvoir de gonflement des fibres. Cette propriété est liée à la présence de polysaccharides (la lignine n'a pas de pouvoir hydrophile). Le son du blé est riche en cellulose et en hémicellulose, il peut absorber jusqu'à six fois son poids d'eau. De plus, d'autres facteurs peuvent influencer la formation des gels comme le pH, la température mais aussi la force ionique. Cette hydratation entraîne un accroissement du poids des selles et une diminution de leur consistance. Les fibres permettent donc de réguler le transit intestinal. En pharmacie, il y a des laxatifs dit de lestés qui sont constitués de psyllium (PSYLIA) ou Ispaghul (SPAGULAX), ils absorbent l'eau et créent un volume qui permet d'augmenter le poids et le volume des selles. (98)

- Les fibres alimentaires améliorent la tolérance glucidique. Comme vu précédemment, les fibres augmentent le volume et la viscosité du bol alimentaire, diminuent la vidange gastrique et diminuent l'absorption intestinale. Les fibres visqueuses comme la gomme ou la pectine ont un effet marqué sur la glycémie. (98) (99)

IV.2.3. Les propriétés physiologiques des fibres alimentaires

Les fibres jouaient un rôle essentiel en pathologie digestive. Les fibres ont plusieurs propriétés, hypoglycémiantes, hypocholestérolémiantes...(100)

Quel est l'intérêt des fibres alimentaires dans notre alimentation?

- Les fibres et la constipation :

En France, la constipation occasionnelle concerne environ seize millions de personnes. Cette pathologie touche plus les femmes que les hommes. La constipation est en grande partie liée à notre mode de vie et à un régime faible en fibres alimentaires.(101)

En quoi les céréales jouent un rôle dans la constipation ?

Les fibres alimentaires peuvent prévenir et même guérir la constipation. Ici, nous allons parler des fibres de céréales que nous pouvons retrouver dans différents pains, principalement le pain complet. En effet, les fibres de céréales augmentent le poids humide des selles. De plus, plus le poids moléculaire est faible, plus le pouvoir osmotique est élevé ce qui a pour effet d'attirer l'eau dans la lumière intestinale.

Néanmoins, une trop grande quantité d'eau dans les fèces, peut entraîner l'arrivée de diarrhées. Grâce à une augmentation du poids des selles, il va y avoir une accélération de la vitesse du transit intestinal par stimulation des contractions du côlon. Il y a donc une concordance entre le poids des fèces et le temps de transit.

En revanche, les fibres alimentaires sont vraiment efficaces si le patient a un transit lent. C'est à dire les individus avec un transit ralenti, ont une excrétion fécale réduite. La consommation de fibres augmente le volume des selles et accélère le transit. Par contre, une personne qui a un transit régulé, son excrétion fécale est assez importante et l'apport de fibres va augmenter le poids des selles mais modifiera peu le temps de transit. Le transit intestinal n'est pas contrôlé que par l'effet mécanique des fibres mais aussi par les produits de fermentation bactérienne. Les fibres fermentescibles jouent un rôle dans l'encombrement dû à l'augmentation de la masse bactérienne dans le côlon. Leur action est renforcée par des acides gras volatils qui favorisent la motricité gastrique. Les principaux gaz que nous retrouvons dans le côlon sont l'hydrogène, le dioxyde de carbone et le méthane. La production de gaz provoque des symptômes digestifs comme des coliques abdominales ou des sensations de distension. Néanmoins, l'acétogénèse (étape de transformation de la digestion anaérobie où les matières sont transformées en acide acétique (102)) permet de saisir une partie de l'énergie qui sera éliminée sous forme de gaz.(97,103)

Les principaux acides gras volatils (AGV) sont l'acide acétique, propionique et butyrique. Ils sont absorbés par la muqueuse colique. Les acides gras volatils vont stimuler l'absorption de l'eau et du sodium, et ils vont sécréter du bicarbonate. Une fois leur absorption dans les cellules épithéliales, les acides gras volatils vont fournir une quantité importante d'énergie tout particulièrement les acides butyriques. Les acides acétiques et propioniques vont aller dans le foie pour être utilisés dans le métabolisme énergétique. La proportion d'acides gras volatils varie en fonction des caractéristiques physiques et chimiques des substrats fermentés. Mais en moyenne, un gramme de fibres fermentescibles produit 0,65 grammes d'acides gras volatils. (97,104)

- Les fibres et le cancer colorectal :

C'est en 1969 que le chirurgien Denis Burlitt constate que les Africains présentent moins de cancers du côlon que les occidentaux.

Selon une récente étude aux Etats-Unis, un patient qui souffre d'un cancer du côlon devrait manger des aliments riches en fibres pour améliorer sa survie. (105) Des chercheurs de Harvard Medical School ont fait une étude sur 1575 patients atteints d'un cancer colorectal non métastatique. Les patients devaient remplir un questionnaire sur leur comportement alimentaire afin que les chercheurs calculent l'apport quotidien en fibres de chacun. Le résultat a été publié dans la revue scientifique JAMA Oncology en janvier 2018. L'étude a duré 8 ans, il y a eu 773 décès donc 174 directement lié au cancer colorectal, soit 22,5 %. D'après les chercheurs, une augmentation de cinq grammes de fibres diminue le risque de décès de 22% pour le cancer colorectal. (106) Les fibres les plus intéressantes sont celles présentes dans les céréales. Une augmentation de cinq grammes de fibres par jour entraîne une diminution de 33% de risque de décès lié au cancer colorectal. (53)

- Les fibres et la glycémie :

Les fibres peuvent aider à contrôler la glycémie. Les fibres insolubles comme les fibres de céréales, ont un faible effet sur la réponse glycémique. En revanche, les fibres solubles comme celles du son d'avoine ou des graines de lin mais aussi celle des fruits riches en pectine (pomme, orange, fraise, poire) amélioreraient la tolérance glucidique. (98)

Divers mécanismes peuvent modifier la glycémie et les besoins en insuline :

- * La digestion : les fibres peuvent ralentir l'absorption des sucres en modifiant l'activité enzymatique du tube digestif. Cette diminution de l'absorption est sans doute possible grâce au débit intestinal et aussi grâce au ralentissement de l'évacuation gastrique. (98)

Dans le pain complet, la digestion de l'amidon est ralentie par les structures cellulaires qui enveloppent les grains d'amidon. Il s'agit d'une structure supramoléculaire. Le grain d'amidon est sous forme de granules semi-cristallin : l'amylopectine est organisée en feuillets et cela forme une zone cristalline tandis que l'amylose forme une zone amorphe entre les divers feuillets.

- * Les hormones : lors de la consommation de fibres, nous observons une réduction de la sécrétion du glucagon (puissant stimulant de la sécrétion

d'insuline). Les fibres ont pour rôle de diminuer la sécrétion d'insuline tout en améliorant l'utilisation du glucose. De plus, les produits de la fermentation des fibres altèrent aussi la production hépatique de glucose. Les acides gras volatils stimulent la glycolyse (métabolisme du glucose). A l'heure actuelle, la consommation de glucides complexes incluant les fibres alimentaires (pain complet, pâtes complètes, légumineuses) est reconnue auprès des diabétologues. En effet, si l'alimentation des diabétiques est limitée en aliments glucidiques, une part de l'énergie sera apportée sous forme de lipides et de protéines, ce qui risque d'aggraver les effets secondaires du diabète. (107)

- Les fibres et le métabolisme lipidique :

Chaque année en France, 150 000 personnes meurent d'une maladie cardio-vasculaire, 120 000 personnes déclarent un infarctus du myocarde et 500 000 souffrent d'une insuffisance cardiaque. L'alimentation joue un rôle primordial dans l'apparition des maladies cardio-vasculaires.(108) Quelle que soit l'origine, les excès de graisses et le cholestérol sont les principaux facteurs de risques de déclencher une maladie cardio-vasculaire. Le cholestérol n'est pas directement oxydé par les cellules, il ne peut être éliminé que par la voie biliaire sous forme de sels biliaires ou directement sous forme de cholestérol. Une alimentation riche en fibre de son de blé (pain complet) entrainerait une baisse des taux sériques de cholestérol et de triglycérides. Par contre, cette diminution semble visible seulement chez les patients souffrent de cholestérol ou avec des triglycéridémies assez élevées.(108)

Les mécanismes d'action des fibres alimentaires semblent assez complexes et multiples. Les fibres entraineraient l'absorption intestinale, en augmentant l'excrétion des sels biliaires ou en modifiant le métabolisme des lipides. Les fibres ralentissent l'absorption des lipides et cette absorption est prolongée au niveau plus distal dans l'intestin grêle. Quelles que soient les fibres, elles sont susceptibles de favoriser l'élimination du cholestérol, en diminuant l'absorption iléale des sels biliaires. (109,110)

Toute fois il ne faut pas penser que les fibres alimentaires ont une influence sur le métabolisme des lipides. Il est plus facile de modifier son alimentation en changeant la nature des graisses alimentaires que par une forte consommation de fibres alimentaires. Mais un régime riche en fibres et souvent pauvre en lipides permet indirectement d'influencer sur le métabolisme des lipides.(111,112)

- Les fibres et les minéraux :

Il n'existe pas que des effets positifs à la consommation de fibres alimentaires. Un des effets négatifs lors d'une forte consommation de fibres alimentaires est une diminution de la biodisponibilité des minéraux apportés par l'alimentation. Nous y retrouvons la Calcium (Ca), le Magnésium (Mg), le Zinc (Zn), le Fer (Fe) ainsi que le Cuivre (Cu). Les fibres

peuvent fixer les minéraux, soit en faisant des échanges cationiques soit en les piégeant dans leur structure. Cependant, les fibres peuvent aussi agir en diminuant la concentration des minéraux dans l'intestin ou en stimulant le transit. (113)

La capacité des fibres à absorber les minéraux dépend de leur composition chimique. Elle est directement liée à l'existence de groupements ionisables notamment l'acide uronique présent dans les fruits et les légumes et le phytate que nous retrouvons dans les céréales. (113)

Les pectines bénéficient d'une grande capacité à pouvoir échanger les cations et, leur capacité à absorber le calcium est inversement proportionnelle à leur degré de méthylation ou d'acétylation. En revanche pour la cellulose, cette capacité est faible, à l'inverse des hémicelluloses qui possèdent des groupements uroniques. (114) Dans le blé, les phytates sont localisés dans le germe mais, avant tout, dans les enveloppes (péricarpes, testa et aleurone). Les phytates sont des composés phosphorés qui s'associent à certains métaux comme le fer. Cela permet d'éviter leur absorption par l'intestin. Les aliments riches en fibres sont également riches en phytates, il y a le pain complet, les flocons d'avoine, des céréales complètes et aussi des fruits secs comme les noix ou cacahuètes. Ces aliments s'associent au fer non hémique et le rendent insoluble. Seulement, 1 à 10% de ce fer est absorbé par l'organisme, son assimilation varie selon les éléments qui composent le repas. Pour réduire la teneur en phytates des céréales ou des fruits secs il faut les faire tremper avant de les cuisiner, cela permet de les appauvrir en phytates (tableau 6). (114)

Sources alimentaires de phytate

Aliments	Phytate [% sec minimum]	Phytate [% sec maximum]
Tofu	1,46	2,90
Graine de lin	2,15	2,78
Son d'avoine	0,89	2,40
Farine de soja	1,24	2,25
Soja	1,00	2,22
Blé	0,75	2,22
Cacahuète	1,05	1,76
Haricot	0,89	1,57
Seigle	0,54	1,46
Fibre d'avoine	0,60	1,42
Farine de blé	0,25	1,37
Blé	0,39	1,35
Pois chiches	0,28	1,26
L'avoine	0,42	1,16
Orge	0,38	1,16
Pain de grains entiers	0,43	1,05

Tableau 6 : Sources alimentaires de phytate (115)

Il est clairement démontré que les phytates sont responsables de problèmes de disponibilité des minéraux, notamment Ca, Mg, Fe, Cu et le Zn. L'enzyme responsable des

effets néfastes des phytates est la phytase. Elle va progressivement déphosphoryler l'acide phytique en lui enlevant ses capacités de chélateur envers les cations (figure 20). Cela va former des complexes insolubles avec le calcium et le zinc, rendant ceux-ci difficilement absorbables. (114)



Figure 20 : Formule chimique de l'acide *phytique* (116)

- La phytase végétale :

L'activité phytasique dans les grains et les graines varie considérablement en fonction des espèces végétales. Le blé, le seigle et leurs hybrides ont une activité phytasique très élevée à la différence de l'orge. Dans le blé, il y a 40% de l'activité phytasique dans l'aleurone, 34% dans l'endosperme, 15% dans le scutellum, 5% dans le testa, 3% dans le germe et les couches épidermiques. (113,117) La préparation et l'utilisation des céréales ont une grande influence sur l'hydrolyse des phytases. Au cours de la panification, la phytase du blé peut hydrolyser une partie des phytases. L'activité optimale des phytases est autour de 50°C. Pour le blé, 100% de l'activité est perdue après un chauffage de 10 minutes à 70°C. Donc la cuisson détruira les phytases. (113)

Nous pouvons donc en conclure que pour un pain blanc il y a peu de probabilité qu'il y est des phytases après panification avec la levure. En revanche, un pain complet contient environ 70% de ses phytases.(114)

- La phytase intestinale :

Cette enzyme a été mise en évidence chez les ruminants. Ils hydrolysent totalement le phosphore phytique grâce à la flore du rumen. Mais aucune valeur n'a été rapportée chez l'homme.

Le blé peut réduire le pouvoir antinutritionnel des phytases grâce à l'activité de la phytase que nous retrouvons dans la farine et le pain. De plus, la majorité des problèmes de déficit en calcium, fer et zinc ont été observés dans les régions où le pain était consommé « plat » sans fermentation et cuit à partir de farines peu blutées.(117)

Pour conclure, actuellement, il n'existe pas de recommandation pour les fibres alimentaires. Mais la consommation de fibres est favorable. Les effets positifs sont plus importants que les possibles effets négatifs.

Une consommation régulière de pain complet peut avoir un véritable effet bénéfique sur la santé. Tout d'abord, nous avons vu un effet favorable sur la constipation sans aggraver le tube digestif (à la différence de certains laxatifs, laxatifs stimulants, microlax). Il y a aussi des effets sur la digestion et aussi sur l'incidence des cancers colorectaux.(114)

IV.3. Les vitamines

Dans le blé nous retrouvons essentiellement des vitamines du groupe B : les vitamines B1, B2 et PP. Elles fonctionnent comme des co-enzymes et jouent un rôle dans le métabolisme des hydrates de carbone. Les vitamines du groupe B et E sont nécessaires au bon fonctionnement du système nerveux et du métabolisme des sucres. Ces vitamines sont retrouvées dans l'enveloppe du grain de blé, plus le taux d'extraction est important, moins il y aura de vitamines dans le pain. Le pain complet contient 2 à 3 fois plus de vitamines B et E que le pain blanc. (118)

IV.3.1. La vitamine B

Les vitamines B permettent de produire de l'énergie, principalement de l'énergie liée à la performance physique mais aussi mentale. Les vitamines B jouent un rôle dans la synthèse de neuromédiateurs, responsables de la communication entre les neurones. Il est nécessaire d'assurer un apport suffisant en vitamine B, car elle permet de prévenir la fatigue intellectuelle. Les principales sources de vitamines B dans l'alimentation sont : les céréales, le pain complet, les abats comme le foie, le jaune d'œuf, le poisson, la volaille. Nous pouvons aussi en trouver dans les fruits et les légumes comme les bananes, l'avocat ou bien les légumes verts (haricot, brocoli). De plus, en pharmacie il y a des compléments alimentaires contenant de la vitamine B comme Berocca Boost[®], Alvityl[®]Vitalité... (119)

IV.3.1.1. La vitamine B1 ou Thiamine

La vitamine B1 est une vitamine hydrosoluble. Elle est peu stocker dans l'organisme. Elle est absorbée au niveau de l'intestin grêle plus précisément au niveau du jéjunum, en faible quantité. Il est donc primordial d'en consommer chaque jour.

La vitamine B1 joue un rôle dans le métabolisme et l'assimilation des glucides, lipides et protéines. Mais aussi elle intervient dans la transmission de l'influx nerveux. Plus précisément, la thiamine, agit sur la mémoire, la concentration ou encore le raisonnement. (120)

Les apports recommandés chez un enfant âgé de 1 à 12 ans sont compris entre 0,4 mg et 1mg par jour. Chez un adolescent de 13 à 19 ans, 1,1 mg à 1,3mg. Chez une femme il est

recommandé de consommer 1,1mg de vitamine B1 par jour et chez un homme 1,3mg. Pendant la grossesse, l'allaitement mais aussi chez un patient souffrant d'alcoolisme chronique les besoins en vitamine B1 sont plus élevés, environ 1,8mg par jour.

Une carence en thiamine est responsable d'une maladie grave, le bériberi. Cette maladie est devenue rare dans les pays industrialisés mais il est tout de même possible de rencontrer des cas, moins graves, de carences liées à un apport alimentaire insuffisant chez les patients alcooliques ou les patients alimentés par perfusions non supplémentées. Les principaux symptômes sont : une fatigue, une perte de poids et d'appétit, des troubles neurologiques type polynévrites, des troubles psychiques, cardiaques et digestifs. Tout cela est réversible lors d'administration de vitamine B1. Une hypervitaminose est très rare, car la thiamine devient toxique qu'à des doses extrêmement élevées, supérieures à 100 fois l'apport quotidien conseillé. (120)

Une baguette de pain blanc de 250g, couvre 15% des besoins quotidiens de vitamine B1. Un pain complet de 250g, couvre 50% des besoins. De plus, nous pouvons retrouver cette vitamine dans d'autres aliments comme la levure de bière, les légumes secs, la viande de porc ou les abats type foie et rognons, le poisson et les produits laitiers. (120)

IV.3.1.2. La vitamine B2 ou riboflavine

La vitamine B2 ou riboflavine est hydrosoluble. Elle se caractérise par sa couleur jaune et elle est peu sensible à la chaleur (dégradée à partir de 285°C). En revanche, la vitamine B2 est sensible à la lumière. Pour la protéger, il faut conserver les aliments à l'abri de la lumière et favoriser plutôt les produits frais. De plus, c'est l'une des rares vitamines à être fabriquée par notre organisme, principalement au niveau de la flore intestinale. La quantité fabriquée par notre organisme reste insuffisante pour les besoins de notre organisme. (121)

Cette vitamine a un rôle plutôt important, elle intervient dans le métabolisme général des glucides, lipides et protéines, plus particulièrement dans l'oxydation du glucose, qui permet la libération de l'énergie dans notre corps (tableau 7). La vitamine B2 agit au niveau des cellules dans la dégradation des éléments de l'alimentation. Cette dégradation permet la production d'éléments utiles pour le fonctionnement cellulaire. Pour finir, elle contribue aussi au maintien d'une peau normale. (121)

Dans les pays occidentaux, il est très rare de voir des carences en riboflavine. Une carence se traduit par des gerçures des lèvres et de la bouche, une peau grasse ou des maux de gorge. Elle est observée chez les patients alcooliques ou souffrant de dénutritions sévères. (122)

Age / Etat	ANC en vitamine B2
Nourrissons	0,4 mg
Enfants 1 à 3 ans	0,8 mg
Enfants 4 à 12 ans	1 à 1,4 mg
Adolescents 13 à 19 ans	1,4 à 1,6 mg
Femmes	1,5 mg
Hommes	1,6 mg
Femmes enceintes	1,6 mg
Femmes allaitantes	1,8 mg
Personnes âgées	1,6 mg

Tableau 7 : Apports Nutritionnel Conseillé (ANC) en vitamine B2 en fonction de l'âge(121)

Comme nous pouvons voir dans le tableau ci dessus, les besoins chez une femme enceinte sont augmentés. Une carence pendant une grossesse peut entraîner une malformation chez le nouveau né. La consommation est tout de même limitée à 3g par jour car à forte dose des diarrhées peuvent survenir. En revanche, chez le nourrisson le lait maternel est suffisant pour l'apport en vitamine B2. (tableau 7) (122)

IV.3.1.3. La vitamine B3 ou PP ou niacine

Il s'agit d'une vitamine hydrosoluble. Cette vitamine est essentielle à notre métabolisme.(123) C'est une substance non calorique, c'est une des rares vitamines à être fabriquées par l'organisme. Cette fabrication est rendue possible grâce à un acide aminé : le tryptophane, qui associé à notre alimentation va pouvoir fabriquer de la vitamine B3 au niveau de la flore intestinale et du foie. Mais cela n'est pas suffisant pour couvrir les besoins quotidiens, pour cela l'alimentation reste l'apport majoritaire. (124)

Elle joue un rôle dans la libération de l'énergie surtout dans le métabolisme énergétique normal. Elle permet aussi un bon fonctionnement du système nerveux, comme la mémoire, le raisonnement ou la concentration. La vitamine PP contribue au maintien d'une peau normale (124)

Les apports nutritionnels conseillés en vitamine B3 sont les suivants : (124)

- Enfants de 1 à 3 ans : 6mg de vitamine B3
- Enfants de 4 à 12 ans : 8 à 10mg de vitamine B3
- Adolescents (13 à 19 ans) : 11 à 14mg de vitamine B3
- Femmes : 11mg de vitamine B3
- Hommes : 14mg de vitamine B3
- Femmes enceintes : 16mg de vitamine B3 +++
- Personnes âgées : 11 à 14mg de vitamine B3.

Une carence en PP (*pellagra preventiva*), est dû à des apports insuffisants en vitamine B3. Les premiers signes de carence sont des insomnies, perte d'appétit, fatigue, des troubles de la mémoire et de la concentration. Puis des signes cutanés arrivent lors d'exposition au soleil. Des tâches foncées arrivent sur la peau, qui démangent, gonflent et

parfois peuvent devenir dures. Ces carences sont vues chez les sujets âgés, qui peuvent être soumis à une nutrition parentérale non supplémentée ou chez les alcooliques. (125)

Un pain blanc de 300g contient seulement 13% des besoins en vitamine PP contre 80% pour le pain complet. Les aliments riches en vitamine PP sont, bien sûr, les céréales mais aussi le foie de veau cuit, les rognons, les poissons, les champignons, les œufs... (126)

IV.3.1.4. La vitamine B6 et B9

La vitamine B6 est une famille de six substances, la plus couramment utilisée est la pyridoxine. C'est une vitamine hydrosoluble. Cette vitamine intervient dans le métabolisme des acides aminés et du glycogène ainsi que dans la synthèse de l'ADN et dans la formation de l'hémoglobine, qui transporte l'oxygène dans le sang. Une carence en vitamine B6 induit une gerçure des lèvres, une inflammation de la bouche et une anémie. Cette carence est souvent retrouvée chez les patients souffrants de maladies chroniques de l'intestin ou chez les personnes alcooliques. Des doses en vitamines B6 trop élevées, plus de 500mg par jour de vitamine B6, peut entraîner une perte de sensibilité des doigts et des orteils, des nausées et des vomissements. (127)

Les apports journaliers conseillés sont de 0,6 à 1,6mg de vitamine B6 chez les enfants entre 7 et 15ans, chez la femme l'apport est de 1,6mg contre 1,8 mg chez l'homme. En revanche, chez une femme enceinte, l'apport nécessaire est de 2mg et chez une personne âgée de 2,2 mg.(128)

Le pain blanc de 300g permet de couvrir 15% des besoins quotidiens en vitamine B6, pour un pain complet de 300 g, il couvre 60% des besoins. Cette vitamine peut être retrouvée dans beaucoup d'aliments comme la levure, le foie, les rognons, les légumes frais, secs et certains fruits principalement les fruits oléagineux (noix, amandes, noisettes).(126)

La vitamine B9 ou l'acide folique, est une vitamine essentielle dans la production du matériel génétique (ADN, ARN). Elle permet aussi de produire des acides aminés nécessaires à la croissance cellulaire ce qui explique son caractère primordial aux cours des différentes phases de la vie. Chez la femme enceinte, une carence en vitamine B9 provoque une anomalies de fermeture du tube neural, ce qui s'appelle le spina bifida.(129)

L'apport journalier en fonction des âges est le suivant : (130)

- Nourrissons : 70 microgrammes de vitamine B9
- Enfants de 10 à 12 ans : 250 microgrammes de vitamine B9
- Femmes : 300 microgrammes de vitamine B9
- Femmes enceintes et allaitantes : 400 microgrammes de vitamine B9 +++
- Hommes : 330 microgrammes de vitamine B9

L'acide folique est retrouvé dans les légumes verts comme la salade, les épinards, les avocats... mais aussi les fruits (agrumes, melon, banane), le fromage, les œufs, le foie, les levures, et surtout les céréales complètes (son et germes). Une exposition des aliments à la lumière peut entraîner une diminution importante du taux de vitamine B9. (130)

Pour 100g de farine T55, soit la consommation de la moitié d'une flûte blanche par jour, l'apport journalier recommandé (AJR) est : (131)

- Vitamine B1 : 7% AJR
- Vitamine B2 : 5% AJR
- Vitamine B3/PP : 8% AJR
- Vitamine B6 : 6% AJR
- Vitamine B9 : 10% AJR

Pour 100g de pain complet farine T110, soit 4 tranches de pain complet par jour, la composition est : (132)

- Vitamine B1 : 9% AJR
- Vitamine B2 : 7% AJR
- Vitamine B3/PP : 40% AJR
- Vitamine B6 : 27% AJR
- Vitamine B9 : 15% AJR

Le pain complet reste donc un aliment riche en vitamine B mais il ne comble pas à lui tout seul l'apport recommandé en vitamine B.

IV.3.2. La vitamine E

La vitamine E aussi appelée tocophérol, est une vitamine liposoluble. Dans la nature, la vitamine E est retrouvée sous huit formes différentes : alpha-, bêta-, gamma-, delta-tocophérols et alpha-, bêta-, gamma-, delta-tocotriénols. L'alpha-tocophérol reste la plus fréquente et elle présente d'ailleurs l'activité vitaminique la plus élevée. Tout d'abord cette vitamine est antioxydant. Mais elle est utile aussi à la constitution des membranes cellulaires. Plus précisément, la vitamine E protège les membranes des cellules. De cette façon, cette vitamine empêche l'oxydation du mauvais cholestérol, le LDL, qui se dépose moins facilement dans les artères. (133) De plus, la vitamine E possède aussi des propriétés anti-inflammatoires, vasodilatatrices et antiplaquettaires. Elle est aussi cardioprotecteur. (133) Son action antioxydante est utilisée dans la prévention des maladies cardiovasculaires, cancers et certaines maladies liées à l'âge comme les rhumatismes, la cataracte, la dégénérescence de la rétine liée à l'âge (DMLA) ou bien la maladie d'Alzheimer.(134)

Le risque de carence en alpha-tocophérol est rarissime chez l'adulte et n'apparaît qu'au bout de plusieurs années d'absence d'apport. Elle se manifeste par des troubles neurologiques ainsi que par des douleurs et des sensations de brûlure dans les pieds et les mains. Souvent, ces troubles sont dus à une mauvaise absorption intestinale en vitamine E, présent dans certaines pathologies, comme la maladie coeliaque ou la maladie de Crohn. (133) (134)

Les aliments les plus riches en vitamine E sont les huiles, huile de tournesol (56mg/100g), mais aussi la margarine (43mg/100g), les germes de blé, les noisettes, les amandes (20-25mg/100g)... L'apport nutritionnel conseillé est de 12mg par jour pour les adultes. Pour 100g de pain blanc, l'apport journalier recommandé est : 2% (soit 0,18mg). (135)

Pour 100g de pain complet, soit 4 tranches, l'apport journalier recommandé est de 4% (soit 0,6mg pour 100g). (132)

Un médicament à base d'acétate d'alpha-tocophérol est mis sur le marché il s'agit du TOCO 500, il s'agit de capsule molle contenant 500mg d'acétate d'alpha-tocophérol par capsule. Ce traitement doit être donc utilisé en cas de carence. (136)

Il existe des compléments alimentaires qui apportent près de 150 à 750mg par jour de vitamine E. Des doses égales ou supérieures à 75mg par jour peuvent entraîner une augmentation du risque de développer un accident vasculaire cérébral, surtout si le traitement est pris sur plusieurs mois voir plusieurs années. (134)

IV.4. Les minéraux

Notre alimentation manque de minéraux. Les minéraux sont des molécules d'origine organique que notre organisme ne peut pas créer, comme les fibres. Mais ils sont indispensables à notre bon fonctionnement. Les principaux sels minéraux retrouvés dans le corps sont : le fer, le sodium, le potassium, le magnésium, le calcium, le chlore, le phosphore et le soufre.(137)

Chaque minéraux jouent un rôle important sur notre organisme. Le fer permet une bonne oxygénation du sang, des cellules et des muscles. Le fer rentre dans la composition de l'hémoglobine, il permet le transport de l'oxygène de l'air inspiré vers tous les organes du corps.(138) Notre taux sérique normal de fer (fer présent dans le seul plasma sanguin et non dans les globules rouge qui en sont très riches) doit être compris entre 9 et 28 mmol/L chez la femme et 10 et 30 mmol/L chez l'homme.(139)

Le sodium est un électrolyte du corps, nous en avons besoin en quantités importantes. Ce minéral est présent dans le plasma et permet un équilibre liquidien normal. Il joue un rôle dans le fonctionnement des nerfs et des muscles.(140) La concentration de sodium dans le sang et le liquide interstitiel déterminent la quantité d'eau présente dans les cellules et le volume sanguin. Le sodium est apporté par l'alimentation sous forme de chlorure de sodium : le sel. Attention, des apports trop important de sel peuvent causer par la suite des troubles d'hypertension artérielle. Un à deux grammes de sel équivaut à 400 – 800mg de sodium. Cette quantité est suffisante aux besoins de base de l'organisme.(141)

Le potassium est retrouvé à l'intérieur des cellules. Il est nécessaire au bon fonctionnement des cellules, des nerfs et des muscles. Il régule l'équilibre hydro électrolytique du corps, conserve un rythme cardiaque normal et intervient dans la conduction de l'influx nerveux et la contraction musculaire. (142) Le taux de potassium dans le sang est très étroit. Un taux de potassium trop faible (hypokaliémie) ou trop élevé (hyperkaliémie) peut provoquer de graves conséquences. Comme des altérations du rythme cardiaque voire un arrêt cardiaque. Le taux de potassium doit être compris entre 3,5 et 5 mmol/L.(143)

Le magnésium porte une charge électrique lorsqu'il est dissous dans les liquides corporels comme le sang mais une grande partie du magnésium est non chargé et il est lié aux protéines ou stocké dans les os. L'os est constitué de la moitié du magnésium de notre organisme. Il permet la formation d'os et des dents. De plus, il maintient un fonctionnement

normal des nerfs et des muscles. Ce minéral participe aussi à la transmission neuromusculaire de l'influx nerveux. (144) (145)

Le calcium est à 99% retrouvé dans les os. Mais le calcium est aussi retrouvé à faible dose à l'intérieur des cellules, principalement les cellules musculaires. Il permet d'assurer la solidité du squelette et la dureté des dents. Un apport suffisant en calcium aurait un effet préventif sur l'hypertension artérielle. (146) (147)

Pour terminer, le phosphore est un élément important du corps humain. La quasi-totalité du phosphore est mélangé à l'oxygène et forme le phosphate. Le phosphate représente 85% de l'os. Le reste est situé à l'intérieur des cellules, où il intervient dans la production d'énergie.(148)

Pour 100g de farine T55, soit la consommation de la moitié d'une flute blanche la composition est : (149)

- Fer : 1,2mg (11% apports journaliers recommandés (AJR))
- Sodium : 518mg (35% AJR)
- Potassium : 180mg (5% AJR)
- Magnésium : 23mg (8% AJR)
- Calcium : 22mg (2% AJR)
- Phosphore 110mg (20% AJR)

Pour 100g de pain complet farine T110, soit 4 tranches de pain la composition est : (150) (151)

- Fer : 6,8mg (62% apports journaliers recommandés (AJR))
- Sodium : 603mg (41% AJR)
- Potassium : 291mg (8% AJR)
- Magnésium : 108mg (38% AJR)
- Calcium : 58mg (5% AJR)
- Phosphore : 254mg (46% AJR)

Le pain est une source importante de minéraux. Si nous mangeons du pain chaque jour, nous assimilons d'importants minéraux. Mais ces minéraux se retrouvent principalement dans la partie externe du grain de blé. C'est pour cela que les pains complets ou multi graines ont une teneur plus importantes en minéraux que celle des pains blancs.(152)

IV.5. L'aspect nutritionnel du pain et son effet sur la santé

De la farine, de l'eau, du sel et du levain. Le pain accompagne la plupart de nos repas et c'est le pilier de notre alimentation. C'est un symbole. Mais quel pain faut-il favoriser : le pain blanc ou le pain complet ?

IV.5.1. Les fibres alimentaires et le cancer

Nous savons que le pain complet est riche en fibres, et ces fibres sont bénéfiques pour notre santé. Elles peuvent nous protéger de certains cancers comme le cancer colorectal. (126)

Le cancer colorectal est le 2^{ème} cancer le plus fréquent chez la femme et le 3^{ème} chez l'homme en France. Il touche 43 000 personnes et cause 17 000 décès chaque année. Dans 80% des cas, il survient d'une tumeur bénigne qui évolue lentement et finit par devenir cancéreuse.(153)

Depuis 1997, le World Cancer Research Fund (WCRF) et l'American Institute for Cancer Research (AICR) évaluent la relation entre la consommation de fibres et le risque de cancer. Les dernières études datent de 2018 et il s'avère que la consommation d'aliments riches en fibres est associée à une diminution du risque de cancer colorectal avec un niveau de preuve probable.(154) De plus, une étude européenne a été réalisée par l'établissement public à caractère industriel et commercial. Cette étude porte sur le lien entre la consommation de fibres et le taux de cancer colorectal. Il y a eu 519 978 patients examinés par l'étude EPIC, personnes âgées entre 25 à 70 ans suivies entre 1992-1998 et 2002. Par ces individus, 1 065 ont déclaré un cancer colorectal avec 706 cancers du colon et 359 cancers du rectum. Le risque relatif de cancer colorectal pour les 20% de sujets consommant beaucoup de fibres par rapport aux 20% de sujets en consommant moins est de 0,75. Cette réduction du risque de 25% est significative.(155)

Les différentes fibres ayant un effet de protection le plus net sur ce cancer sont les fibres de céréales et de fruits. Les aliments riches en fibres ont un effet protecteur sur la prévention du cancer colorectal. Ces fibres agissent sur divers mécanismes concernés dans le développement du cancer. Dans l'intestin, les fibres augmentent le poids des selles, cela réduit le temps du transit et donc accroît la concentration de carcinogènes potentiels dans le côlon. Au niveau du côlon, grâce à l'action des microbiotes, les fibres produisent des acides gras à chaînes courtes qui sont équipés de propriétés anti-inflammatoires et antiprolifératives. (154) (155) D'autres mécanismes rentrent en compte, une alimentation riche en fibres entraîneraient une diminution de la sécrétion d'insuline qui serait un facteur de risque du cancer. Les fibres diminuent la concentration dans le sang d'hormones et de facteurs de croissances qui jouent un rôle dans la prolifération cellulaire. (156) Des chercheurs de l'université de la Finlande orientale et du centre international de recherche sur le cancer basé à Lyon se sont intéressés à la physiologie de 15 volontaires suivant leur régime alimentaire habituel consommant ou non du pain à base de céréales complètes. Pendant l'étude de deux mois, ils ont analysé l'ensemble de leurs métabolismes connus ou non présents dans le sang. Il en est ressorti que la consommation de pain à base de céréales provoqué une baisse nette de sérotonine dans le sang. De plus, des concentrations

plasmatiques plus faibles en taurine, glycérophosphocholine et de deux glycérophospholipides endogènes ont été observées. Pour aller plus loin, les chercheurs ont évalué les effets d'une supplémentation en fibres de céréales (son de seigle et de blé) dans le régime alimentaire de souris. Après neuf semaines de traitements, les souris avec un régime riche en fibres avaient une sérotonine plus faible dans leur côlon comparativement à celles recevant du froment. Clairement, la sérotonine est un neurotransmetteur qui agit sur le système nerveux central et sur le tube digestif. Mais c'est aussi une hormone locale qui agit au niveau de certaines cellules sanguines et des cellules du tube digestif. La sérotonine dans l'intestin agit sur la mobilité intestinale. Sa diminution provoque alors un ralentissement du transit et une chute de l'inflammation. En revanche, sa hausse, au contraire provoque un transit rapide et une hausse de l'inflammation. Ces résultats montrent que la sérotonine périphérique constitue un lien entre la consommation de céréales complètes et des effets favorables sur la santé.(157)

Voici un tableau résumant la teneur en fibres alimentaires des farines de blé et du pain (g/100g) : nous remarquons bien que le pain complet est trois fois plus riches en fibres que le pain blanc (tableau 8).

	Teneur totale en fibre	Polysaccharides non cellulosiques	Cellulose	Lignine
Farines				
blanche	3,15	2,52	0,60	0,03
semi-complète	7,87	5,70	1,42	0,75
complète	9,51	6,25	2,46	0,80
son	44,0	32,7	8,05	3,23
Pains				
blanc	2,72	2,01	0,71	traces
semi-complet	5,11	3,63	1,33	0,15
complet	8,50	5,95	1,31	1,24

Tableau 8 : Teneurs en fibres alimentaires des farines de blé et du pain (g/100g) (158)

IV.5.2. Le pain et les maladies cardio-vasculaire

Les maladies cardiovasculaires sont la première cause de mortalité dans le monde et la deuxième en France après le cancer. Elles sont aussi l'une des principales causes de morbidité et de consommation de soins avec près de 15 millions de patients soignés pour maladie ou risque cardiovasculaire. (159)

Les fibres ont un effet indirect car elles contribuent à diminuer le risque de surpoids et d'obésité, facteur impliqué dans beaucoup de maladies cardio-vasculaire.(154) Mais il faut être vigilant car une consommation trop importante de grains raffinés c'est à dire de pain blanc est associée à une augmentation du risque de maladies cardiovasculaire, d'accident vasculaire cérébral et de décès. Il existe trois catégories de grains : les grains raffinés, les grains entiers et le riz. Dans les grains raffinés, une partie voir la totalité du germe, du son et de l'endosperme a été enlevée. Cela comprend : la farine blanche, le riz blanc, la semoule. (160) Les grains entiers contiennent les trois parties qui ont été enlevées aux grains raffinés c'est à dire le son, l'endosperme et le germe. Chaque partie contient des éléments nutritifs importants au bon fonctionnement du corps. Ils possèdent plus de fibres, de vitamines et de minéraux. Nous y retrouvons le pain complet, le pain au grain de maïs, le pain au grains entiers...(161)

Une consommation importante de céréales raffinées, soit 350 g par jour peut être associé à un risque de décès de 27% plus élevé par un trouble cardiovasculaire. De plus, les grains raffinés seraient associés à une augmentation de la pression artérielle. A l'inverse les grains entiers, comme les pâtes ou le pain complet sont plus riches en minéraux, vitamines, fibres et protéines. Ces aliments à contrario du pain blanc sont recommandés pour prévenir ou retarder les maladies cardiovasculaires. De plus, les fibres contenues dans ces aliments permettent un sentiment de satiété et favorisent l'éviction au grignotage. Surtout que souvent le grignotage est à l'origine du mauvais cholestérol. (162)

D'après une étude réalisée à l'Université de d'Aberdeen au Royaume Uni, des chercheurs ont prouvé qu'une consommation de pain complet exerce un effet protecteur sur la santé en diminuant les maladies cardiovasculaires et le diabète. Cette étude porte sur 206 personnes âgées de 40 à 65 ans. Pendant plusieurs semaines les patients ont mangé des céréales raffinées et des céréales complètes et les chercheurs regardaient : la glycémie, le cholestérol, la pression artérielle, la lipidémie et les marqueurs de l'inflammation... le résultat est flagrant, quand nous consommons trois portions de céréales complètes (pain complet) tous ces paramètres baissent. (163)

IV.5.3. Le pain et la lithiase biliaire

La lithiase biliaire est la présence dans la vésicule biliaire de dépôts de calculs biliaires, formés à partir de la bile. Il s'agit de consistances pierreuses. Différents facteurs peuvent en être la cause comme l'âge, le sexe féminin, le surpoids et parfois la prise de certains médicaments. Ces dépôts sont de la taille d'un grain de sable voir d'un petit caillou, ils se forment à 80% à partir du cholestérol retenu dans la bile. La sursaturation de bile en cholestérol va favoriser la stagnation de la bile dans la vésicule et provoquer l'agglomération de cristaux. Les 20 autres pourcentages sont dus aux pigments biliaires seuls (substances

noires ou brunes) parfois associés au cholestérol. Les calculs biliaires représentent 10 à 15% des adultes de 20 à 60 ans et avec l'âge cela augmente à 60% après 80 ans.(164)

La vésicule biliaire est située sous le foie, elle stocke et concentre la bile produite. Lors de la digestion, la vésicule se contracte pour relâcher une infime quantité de bile (figure 21). Plus la personne consomme des aliments gras, plus la quantité en bile sera importante. Après cette libération de bile, elle se dirige vers le canal cystique, qui la conduit vers la voie biliaire puis vers le cholédoque pour enfin être évacué dans la duodénum.(164) Les symptômes arrivent quand l'écoulement de la bile se fait moins bien avec des douleurs, vomissements et nausées. (165)

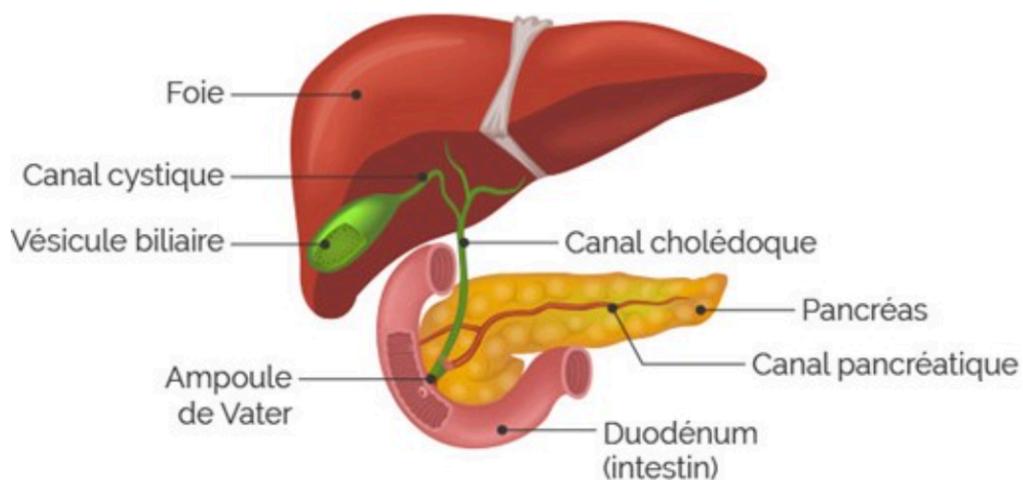


Figure 21 : Anatomie du système hépatique (166)

Grâce à l'administration du son présent dans le grain de blé, la bile devient moins lithogène c'est à dire qu'elle produit moins de pierres. Elle engendrerait moins de formation de calculs biliaires. Cela peut être intéressant dans les familles à lithiasiques cholestéroliques. L'ingestion de son pourrait avoir un rôle préventif chez les patients à qui nous avons dissous des calculs médicalement ou chez les cholécystectomisés (ablation de la vésicule biliaire).(158)

Un équilibre alimentaire est important. Un apport en fibres suffisant, des fruits et des légumes doivent composés chacun des repas. Les fibres ont un rôle protecteur pour la santé de la vésicule biliaire. Les crudités riches en vitamine C permettent un apport élevé en antioxydants. En cas de calcul biliaire, il est essentiel de consommer des aliments riches en céréales complètes. L'apport à chaque repas de produits céréaliers comme le pain complet est essentiel, en raison de leurs ressources en vitamine B. La vitamine B est intéressante pour la santé de la vésicule. (165)

IV.5.4. Le pain et le diabète de type 2 (DT2)

Le diabète de type 2 aussi appelé « diabète non insulino-dépendant » touche principalement les plus de 40ans. Il est aussi plus fréquent que le diabète de type 1. Aujourd'hui 90% des diabétiques sont atteints du diabète de type 2. D'un point de vue

général, le diabète est un excès de concentration de glucose dans le sang (hyperglycémie). Dans le diabète de type 2, il est occasionné par une perturbation du métabolisme glucidique. Le diabète de type 2 se développe silencieusement pendant plusieurs années. L'hyperglycémie reste longtemps asymptomatique et la maladie est souvent découverte à l'occasion d'une prise de sang ou en cas de complication. (167)

Chez une personne non malade, au cours de la digestion, les glucides contenus dans les aliments sont transformés en partie en glucose. C'est à ce moment là que l'absorption intestinale permet au glucose de passer dans le sang. Sa concentration moyenne, la glycémie est de l'ordre 1g/L de sang. Le glucose, source et réserve en énergie est le carburant de nos cellules nécessaire à leur bon fonctionnement. Le foie et le pancréas jouent un rôle fondamental dans la régularisation de la glycémie. Le pancréas sécrète dans le sang des hormones susceptibles d'en faire varier la valeur. Deux scénarios peuvent se présenter :

- Après un repas copieux : la glycémie augmente, le pancréas va le détecter et va impérativement produire de l'insuline qui sera libérée dans le sang. L'insuline permet au glucose de rentrer dans les cellules. Mais elle va également favoriser la mise en réserve du glucose dans les organes de stockage du corps qui sont principalement le foie et les muscles. L'ensemble de ces mécanismes sont nécessaires pour éviter la hausse de la glycémie dont souffre les diabétiques. Donc l'insuline sécrétée par le pancréas en favorisant le stockage du glucose fait baisser la glycémie.
- Lors d'un jeun prolongé : le pancréas détecte une baisse de la glycémie, un manque de glucose dans le sang. Il va donc sécréter une autre hormone le glucagon. Son effet principal est de stimuler la libération du glucose stocké dans les cellules du foie. Le foie est le seul organe donc les cellules soient capables de restituer dans le sang le glucose. Ce déstockage du glucose va permettre d'éviter une hypoglycémie.

Le pancréas et le foie jouent un rôle important dans le contrôle permanent de la glycémie. Ce contrôle suppose un équilibre satisfaisant entre les deux hormones antagonistes sécrétées par le pancréas et une gestion fine du stockage et déstockage du glucose dans le foie. Cet équilibre dynamique, aussi appelé homéostasie est obtenu grâce à ce système auto régulé à commande hormonale. (168)

Chez un patient souffrant du diabète de type 2, lors de l'absorption d'aliments, les glucides vont aussi se transformer en glucose. Mais le pancréas ne crée pas assez d'insuline. Dès lors une partie du glucose ne peut être utilisée comme énergie par les cellules. Cela produit une augmentation anormale du glucose dans le sang, nommée hyperglycémie. Les symptômes de l'hyperglycémie sont la soif intense, les urines abondantes, la fatigue, l'irritabilité... Mais ces symptômes ne sont pas toujours présents et le diabète de type 2 peut passer inaperçu pendant de nombreuses années. A long terme l'hyperglycémie peut causer des dommages importants aux yeux, aux reins, aux nerfs, aux vaisseaux sanguins et au cœur. (169) De plus, le diabète de type 2 est aussi associé à une augmentation de la sécrétion du glucagon qui a des conséquences importantes sur la production hépatique du glucose. L'insulinorésistance (réduction des effets de l'insuline sur le foie et les muscles) se caractérise par une surproduction du glucose dans le foie et une diminution de l'utilisation du glucose par les muscles. Il s'agit d'un défaut de la voie de

l'insuline, secondaire à l'anomalie du tissu adipeux. Le diabète de type 2 se manifeste jamais tant que les cellules bêta du pancréas sont aptes à compenser l'insulinorésistance par une sécrétion accrue d'insuline. (170)

Il est donc impératif de bien s'alimenter car cela peut considérablement aider à obtenir un bon contrôle de la glycémie.

Le régime des diabétiques a évolué dans le temps, à la fin du dernier siècle un régime totalement dépourvu de sucre et très riche en graisses était favorable maintenant une préconisation toute différente est mise en place. La diététique est un élément essentiel du traitement de la maladie au même titre que l'activité physique et la prise des médicaments. Mais ces principes ont évolué, il ne s'agit plus d'un régime hypoglycémique mais d'un régime normoglycémique, modérément hypocalorique, grâce à une diminution des boissons alcoolisées et des graisses. (171) Le pain est et restera un aliment avec un index glycémique élevé, il est donc fortement hyperglycémiant. Mais le pain n'est pas à bannir d'une alimentation pour un diabète de type 2. Ce qui est important c'est la quantité et l'index glycémique de l'aliment et aussi l'association avec un autre féculent. Il sera préférable d'éviter de manger du pain, si au cours du repas nous avons déjà des féculents comme le riz ou des pâtes. En revanche, le diabétique doit supprimer de son alimentation le pain de mie et le pain brioché très riches en sucre. Le patient doit privilégier le pain complet, le pain au seigle, le pain au son aux pains à base de farine blanche et raffinée comme les baguettes. Le pain complet se digère plus lentement et ne fait pas augmenter rapidement la glycémie. Si le patient veut manger de temps en temps une baguette cela doit rester exceptionnel. Il sera conseillé de lui indiquer de manger sa baguette avec un morceau de fromage ou de tartiner son pain de beurre. Ceci permet de ralentir la digestion et de maintenir une glycémie basse. (172)

Dans le régime des diabétiques, une consommation de pain doit être conservée et réduite à 150g par jour. Il sera préférable de manger du pain complet, riche en fibres, avec une incidence favorable sur la régulation de la glycémie. Ainsi, à chaque repas, le patient peut consommer 50 g de pain. Ces repas devront être équilibrés, riches en protéines et en légumes mais faibles en lipides. (126)

D'après un artisan boulanger et un nutritionniste, les pains d'aujourd'hui ne sont plus les mêmes qu'avant. Les boulangers utilisent des mixeurs, il s'agit de sacs où à l'intérieur il y a le levain, la farine et le sel, il ne reste plus qu'à mettre de l'eau. Le pétrissage est donc très rapide et à grande vitesse. En deux heures de temps, le pain peut être enfourné. D'un point de vue nutritionnel, c'est une catastrophe. Ce sont souvent des blés qui ont été traités, ils contiennent beaucoup de produits chimiques. De plus, le temps de repos de la pâte n'est pas assez long pour que le gluten soit complètement dégradé donc le pain est indigeste. Le pain industriel est à proscrire car il fait monter rapidement la glycémie. À jeun, il faut privilégier le pain complet qui est cuit correctement. Le pain complet contient du son, ce son a une influence sur la glycémie à la deuxième heure. (158) Concernant l'index glycémique, ce qui le fait chuter c'est le temps mais aujourd'hui la pression sociale fait que le temps c'est de l'argent. Donc il faut tout faire vite. Mais dans les métiers de la transformation, le temps est la clé du goût et de la santé. À force de vouloir aller trop vite, nous sacrifions notre santé. (173)

Voici une étude qui montre l'évolution de la glycémie chez 10 sujets atteints de diabète (figure 22).

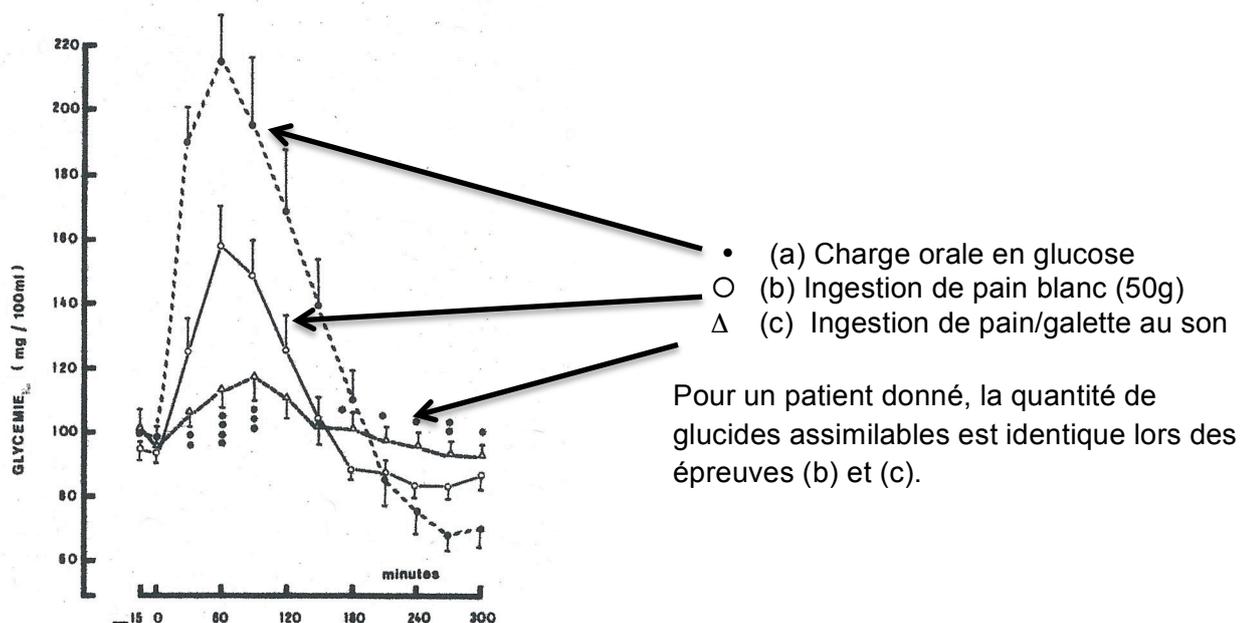


Figure 22 : Évolution de la glycémie chez 10 sujets atteints de diabète (158)

Cette courbe montre que lors d'administration de glucose (figure 22, courbe pointillée) il y a une montée excessive de la glycémie, jusqu'à 2,20g/L. La courbe en trait plein représente une hyperglycémie provoquée par une administration de 50g pain blanc. La glycémie de base est normale mais après absorption de 50g de pain, elle monte à 1,60g/L chez un sujet diabétique. En revanche, lors de la consommation de pain ou galette à base de son, la glycémie n'excède pas plus de 1,20g/L. (158)

Cela montre bien que la consommation de pain complet est meilleure pour les patients souffrants de diabètes mais aussi pour le reste de la population.

IV.5.5. La place du pain dans notre alimentation

Le pain fait partie de l'alimentation humaine depuis 30 000 ans. Il apporte de l'énergie sous forme de glucides et de nutriments essentiels ainsi que des fibres. (174) Mais pourtant la consommation de pains en France a considérablement chuté au cours des derniers siècles. En 1900, la consommation moyenne était de 328kg de pain par personne et par an, aujourd'hui la consommation est passée à 58kg. Soit une baisse de 5 fois moins de pain qu'au début du siècle. En 10 ans, le prix de la baguette a augmenté de 24% pour atteindre 0,88€ en 2015 et aujourd'hui elle est passée à 1,15€ en moyenne. 95% des français consomment du pain et il est présent pour 2/3 d'entre eux au cours des repas. (174)

Dans les pays industrialisés, l'évolution de l'alimentation s'est avérée positive mais aussi négative. Manger beaucoup plus, consommer trop de lipides ou trop d'alcool, avoir une alimentation déséquilibrée augmente le risque de maladies métaboliques et peuvent non seulement diminuer l'espérance de vie mais aussi affecter notre qualité de vie.

Le régime alimentaire idéal inclus t-il du pain ?

En 2013, une étude dans le *New England Journal Medecine* a montré qu'une alimentation de type « méditerranéenne » était la meilleure en terme de prévention de maladies cardio-vasculaires. Ce régime est basé sur peu de viandes rouges mais beaucoup de fruits, légumes et surtout de céréales complètes. Sans oublier des poissons riches en oméga-3 comme le saumon par exemple. La viande rouge est à proscrire car elle est trop riche en acides gras saturés, il faut donc réduire sa consommation mais pas restreindre la viande blanche qui est plus maigre. Le tout est de savoir varier. (175)

Aujourd'hui, tous les nutritionnistes s'accordent à dire que le pain est nécessaire au bon équilibre de notre alimentation. Le pain permet de rééquilibrer notre alimentation trop riche en graisses et en sucres simples. Il limite donc l'obésité et les maladies cardio-vasculaires. Autre avantage, le pain permet d'acquérir une sensation de satiété plus rapide au cours des repas car il nous oblige à mâcher plus longtemps. (176)

Mais quel pain est à privilégier, le pain blanc ou le pain complet ?

Nous savons que ces deux pains sont différents par le taux d'extraction de la farine. Le pain blanc a un taux d'extraction de 75% (le son et les germes sont retirés au moment du raffinage) et le pain complet de 100% (le son et les germes de blé sont présents). Le pain blanc est légèrement plus calorique que le pain complet. Cependant, la teneur en minéraux et en vitamines est supérieure dans le pain complet mais l'absorption dans le tube digestif est moins bonne que pour le pain blanc. D'un point de vue nutrition 100g de pain blanc ou complet équivaut au même nombre de calories, soit 260 calories. Le pain blanc est composé de 60 à 80% de glucides, il a un index glycémique élevé. Le sucre passe rapidement dans le sang et la surcharge en glucides est rapidement stockée en gras. De plus, le foie va intervenir pour venir réguler le taux de glycémie via l'insuline. Les sucres sont éliminés plus rapidement par notre corps pour rétablir la glycémie, cela provoque une baisse d'énergie et une nouvelle envie de sucre. A la différence du pain complet, il apporte des sucres lents, grâce aux fibres qu'il contient. Il favorise donc le transit et l'énergie absorbée. Il diffuse le sucre plus lentement et plus longtemps dans le sang. (177) Réellement, l'intérêt de consommer du pain complet est tout simplement lié à sa teneur en fibres d'origine végétales. Notre alimentation moderne est souvent pauvre en fibres ce qui provoque un ralentissement du transit et une pathologie bien connue : la constipation. Donc le pain complet semble être préférable à consommer. Mais les pains trop riches ne sont pas bons pour tout le monde car ils favorisent la dégradation en minéraux et parfois peuvent irriter la muqueuse intestinale (tableau 9) .(126)

Toute fois, à choisir entre les différents pains blancs, il est préférable de consommer une baguette tradition, plutôt que du pain blanc. Son appellation exige qu'elle ne renferme aucun additif à la différence du pain blanc. Ses additifs sont là pour accélérer la fabrication et pour améliorer sa conservation. (79)

	Fibres	Indice Glycémique	Vitamine et minéraux	Quantité de gluten
Pain de mie				+++
Baguette blanche				+++
Pain de campagne				++
Pain complet (blé)				+++
Pain complet au levain (blé)				+++
Pain complet au levain (sarrasin)				+
Pain complet au levain (petit épeautre)				+

Tableau 9 : Résumé des différentes qualités nutritionnelles des divers pains(79)

Quelle quantité de pain faut-il consommer par jour ?

Il est difficile de conseiller une ration de pain car souvent elle dépend du besoin énergétique, de l'âge, de l'activité physique et de la quantité d'aliments glucidiques consommés. Le pain est un aliment d'accompagnement des repas. Par contre, au petit déjeuner il doit être consommé en grande quantité pour passer la matinée sans fatigue ni envie de grignoter. Il n'est cependant pas recommandé le soir, car nos dépenses énergétiques diminuent.(178) De plus, chez les enfants pour le goûter il est préférable de leur donner du pain plutôt que des gâteaux, qui sont trop riches en lipides et en sucres.(126)

V. Les maladies causées par le pain

A partir de 1960, c'est la révolution verte, l'agriculture devient intensive. Il faut nourrir un pays en pleine croissance. Alors qu'il existe des milliers de variétés de blés, les agriculteurs en utilisent plus que quelques dizaines, les plus productives et surtout les plus efficaces. Il faut une farine standard pour fabriquer du pain vite et bien. Alors, nous sélectionnons des blés au gluten tenace.

A l'époque, nous ne nous posons pas la question sur notre santé. Et si ces blés étaient devenus plus difficiles à digérer ?

De nombreux chercheurs de Clermont Ferrand s'interrogent sur les difficultés à digérer le pain, notamment à cause du gluten. Car il y a de plus en plus de français qui se disent intolérant au gluten. Décrivant toujours les mêmes symptômes à chaque fois qu'ils mangent du pain ou du blé les effets sont immédiats : ballonnements, diarrhée, constipation.(179)

Le pain et plus particulièrement le gluten, peut provoquer trois pathologies :

- La maladie coeliaque,
- L'allergie au blé.
- La sensibilité au gluten non coeliaque,

Ces trois pathologies présentent des symptômes analogues qui peuvent prêter à confusion. Pourtant, il est possible de les différencier. Dans cette partie, nous verrons comment différencier ces trois maladies.

V.1. La maladie coeliaque

La maladie coeliaque aussi nommée sprue coeliaque ou sprue non tropicale est une entéropathie sensible. Il s'agit d'une maladie auto-immune provoquée par un antigène alimentaire très connu, le gluten. C'est une maladie inflammatoire de l'intestin grêle marquée par la présence d'une atrophie villositaire intestinale. En France, la prévalence des sujets malades et symptomatiques atteint 1%. Cette maladie est sous diagnostiquée dans les pays développés ou en voie de développement. (180)

La maladie coeliaque peut se révéler pendant l'enfance entre 6 et 24 mois ou à l'âge adulte, le plus souvent entre 20 et 40 ans. Elle est deux à trois fois plus fréquente chez la femme. D'après la société européenne de gastroentérologie, d'hépatologie et de nutrition pédiatrique (ESPGHAN), il est favorable d'introduire progressivement le gluten dans l'alimentation du nourrisson entre 4 et 6 mois. Des études ont montré que le développement de la maladie coeliaque est plus important si le gluten est introduit avant l'âge de 3 mois ou après le 7^{ième} mois. De plus, l'allaitement maternel semble avoir un rôle de protection contre le développement de la maladie. La maladie coeliaque est diagnostiquée en moyenne plus de 10 ans après l'apparition des premiers symptômes et généralement à l'âge adulte. (180)

V.1.1. La physiopathologie

Tout d'abord, la maladie coeliaque est une maladie qui à une prédisposition génétique c'est à dire que le patient naît avec des gènes de prédisposition. Elle n'est pas strictement héréditaire mais le fait d'avoir des personnes atteintes de cette maladie dans sa famille augmente le risque de cinq à dix fois.

La présence d'un gène de susceptibilité a été mise en évidence dans cette maladie, il s'agit des antigènes d'histocompatibilité HLA-DQ2 et DQ8 (« Human Leukocyte Antigen » - antigènes des leucocytes humains). Cette prédisposition génétique n'est pas suffisante pour déclarer la maladie car 30% des individus possèdent ces marqueurs. Souvent, une infection virale (réovirus) pendant l'enfance peut la déclencher.(180) (181)

Si nous rentrons dans le détail, nous retrouvons ces gènes sur le chromosome 6 et ils sont divisés en trois classes. HLA-DQ est une protéine réceptrice à la surface des cellules. Cette protéine est responsable de la présentation des peptides à partir de l'extérieur des cellules. HLA-DQ est constituée d'un hétérodimère α/β codé par des gènes HLA-DQA1 et HLA-DQB1.(182) Ainsi, les cellules immunitaires, via les protéines HLA, informent notre système immunitaire des potentiels dangers. Tout le monde, possède des gènes HLA, mais ces gènes présentent des variations souvent infimes qui modifient la réponse du système immunitaire face à des menaces étrangères. (183) Mais la génétique de cette maladie reste complexe car le nombre, le type et la configuration des allèles DQA1 et DQB1 définit le risque de la maladie.(183)

Cette maladie auto-immune est deux à trois fois plus fréquente chez la femme car la présence des haplotypes HLA DG8/DQ2 est plus fréquente chez la femme. Le gluten est le principal facteur environnemental impliqué dans cette maladie.(180)

V.1.1.1. La relation entre HLA et le gluten

Comme vu précédemment, HLA-DQ2 et HLA-DQ8 jouent un rôle primordial dans l'évolution de cette maladie. En raison de leurs propriétés physicochimiques et de leur capacité de liaison à des peptides spécifiques les protéines HLA-DQ2 et HLA-DQ8 reconnaissent mieux le gluten que les autres types de HLA. Par conséquent, le gluten peut être perçu comme un « danger » pour le patient atteint de la maladie coeliaque. Lors d'une administration de pain, cela va déclencher la réponse immunitaire qui va rendre le patient malade. La liaison génétique aux molécules HLA et l'enzyme cible des auto-anticorps, la transglutaminase, fait jouer un rôle aux lymphocytes CD4+ du chorion. Ils répondent à certains peptides de la gliadine présentés par les molécules HLA-DQ2/8 après désamidation par la transglutaminase. De plus, la production des auto-anticorps est secondaire à la reconnaissance par le système immunitaire de la transglutaminase complexée à la gliadine. (184)

V.1.1.2. Le mécanisme de cette toxicité

La maladie coeliaque est une entéropathie inflammatoire chronique auto-immune causée par le gluten. Lorsque le malade ingère un aliment qui contient du gluten, ce gluten va être digéré par l'estomac libérant ainsi des peptides appelé : gliadines. Cette gliadine va passer dans l'intestin pour être absorbée par les entérocytes. La gliadine traverse la barrière

épithéliale intestinale sous forme non dégradée et une fois passée dans la *lamina propria** (*membrane qui tapisse les cavités naturelles de l'organisme, constituée essentiellement d'un épithélium et d'un chorion*(185)) une enzyme ubiquitaire nommée transglutaminase tissulaire va enlever un groupement amide de la gliadine. Il s'agit donc du complexe enzyme gliadine désamidés. Ce complexe enzymes desamidés va être capté par les cellules présentatrices d'antigènes aussi appelées CPA qui portent HLADQ2 et HLADQ8. Cela est présenté aux lymphocytes T4 (LT4). Les LT4 vont eux même stimuler les lymphocytes B par le biais des interleukines, l'interleukine 4. Tout cela produit une libération d'anticorps de type IgA (groupe représentant environ 15% d'anticorps présents dans le sang(186)). Ces IgA sont dirigés contre la gliadine et contre la transglutaminase tissulaire, d'où l'appellation de « maladie auto-immune », car il y a une destruction de soie. De plus, les LT4 vont aussi venir stimuler les lymphocytes 8 intestinaux qui par leurs propriétés cytotoxiques induisent une destruction des entérocytes ce qui provoque les phénomènes inflammatoires. (187) Ces anticorps vont endommager la paroi interne de l'intestin grêle. Ceci provoque une aplatissement des villosités et donc une inflammation chronique de la muqueuse de l'intestin grêle.(188) Les nutriments normalement absorbaient par les entérocytes ne peuvent pas traverser la barrière intestinale et ça entraîne une diminution de leur taux dans le sang, nous parlons de « carence par malabsorption »(187) Souvent, cette carence porte sur le fer, nous parlons d'anémie microcytaire mais aussi sur la vitamine B9. Une carence en vitamine B9 et en fer provoque une anémie mixte et elle est donc normocytaire.

De plus, une carence en vitamine K a été retrouvée, surtout pour la prothrombine (TP) et les facteurs VII/IX/ X, ce qui provoque une diminution de ces facteurs, donc risque important d'hémorragie. (187)

En revanche, la maladie coeliaque ne doit ni être confondue ni comparée à une allergie au blé qui est une réaction d'hypersensibilité de type 1. Une réaction d'hypersensibilité de type 1 va entraîner la production d'anticorps IgE et donc une réaction d'allergie classique. (189).

V.1.2. Les symptômes

Lorsqu'une personne est atteinte de la maladie coeliaque, une exposition au gluten peut présenter des problèmes. Ces problèmes sont liés au système digestif et à la malabsorption, ou d'autres symptômes. Les symptômes de la maladie coeliaque sont variables et certaines personnes qui en sont atteintes ne présentent aucun symptôme.

Les symptômes possibles sont les suivants : (190)

- Au niveau du cerveau :
 - Maux de tête ou migraines,
 - Dépression, anxiété, irritabilité et sautes humeurs,
 - Difficulté à se concentrer
- Au niveau de la peau :
 - Eruption cutanées = dermatite herpétiforme, il s'agit d'une dermatose bulleuse auto-immune rare (figure 23). Caractérisée par une association avec une entéropathie au gluten. Cela est lié à des

anticorps IgA anti-transglutaminase épidermique. Les éruptions sont très prurigineuse souvent localisées aux niveaux des fesses et des faces d'extension des membres. (191)



Figure 23 : Dermatite herpétiforme(192)

- Ongles cassants
- Au niveau buccale :
 - Ulcères buccaux,
 - Email dentaire fragilisé
- Système digestif :
 - Diarrhée, constipation, nausées, vomissement,
 - Excès de gaz, ballonnements,
 - Symptômes du colon irritable,
 - Mal de ventre ou crampes d'estomac,
 - Diminution de l'appétit, indigestion.
- Malabsorption :
 - Anémie (faible taux d'hémoglobine due à une malabsorption du fer),
 - Carences en vitamines et minéraux (B12, A, D, E, K, calcium)
 - Faible croissance,
 - Perte de poids,
 - Fatigue.
- Système reproducteur :
 - Infertilité,
 - Fausses-couches,
 - Irrégularité de cycle menstruel

- Autres symptômes :
 - Ostéopénie (perte du capital osseux) ou ostéoporose (problème de densité osseuse, risque de fractures)
 - Douleurs articulaires,
 - Troubles du foie et des voies biliaires

V.1.3. Le diagnostic

Tout d'abord, un diagnostic clinique est possible :

- Chez l'enfant, les médecins vont observer des diarrhées graisseuses d'évolution chroniques. Ces diarrhées permettent le plus souvent la découverte de la maladie. Ainsi, un retard de croissance, avec une cassure de sa courbe de croissance est remarquée lors d'atteinte de la maladie coeliaque. (187)
- Chez l'adulte, une anémie, de la fatigue et la dyspnée lors de l'effort a été observée. (187)

Par la suite, un diagnostic biologique est mis en place :

- Une prise de sang

La prise de sang, va permettre aux médecins d'observer une anémie, une hypoprotidémie, une baisse de taux de lipides et pour finir la prothrombine sera diminuée. Une fois le bilan sanguin effectué, les spécialistes vont mettre en place des tests sanguins plus spécifiques pour dépister la maladie.

- Tests sanguins

Les médecins peuvent prescrire des tests sanguins pour dépister la maladie. Ces tests permettent de rechercher des protéines immunitaires, des auto-anticorps que le corps va fabriquer lors d'ingestion de gluten. Les tests sanguins comprennent la recherche des anticorps anti-transglutaminase tissulaire type IgA, des anticorps anti-peptide de gliadine désamidée et des anticorps anti-endomysium.(190)

- Endoscopie haute

Souvent appelée, gastroscopie, ce diagnostic permet aux médecins de voir la partie supérieure du système gastro-intestinal. Au cours de cet examen, un tube flexible avec une caméra au bout est inséré dans la bouche et dans l'œsophage pour observer l'œsophage, estomac et le duodénum. (193)

- Biopsie de l'intestin grêle

Cet examen est réalisé en association avec l'endoscopie haute. Lors de la gastroscopie, des petits morceaux de tissus de l'intestin grêle sont prélevés. Par la suite, ils seront examinés au microscope. Si le patient souffre de la maladie coeliaque, le technicien observera à la biopsie que les villosités sont endommagées et aplaties dans l'échantillon de l'intestin grêle (figure 24). (190)

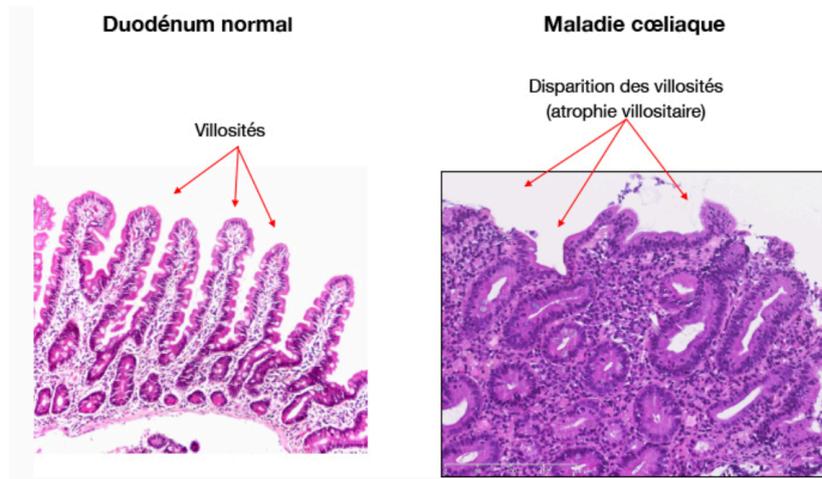


Figure 24 : Coupes histologiques d'un duodénum sain et d'un duodénum atteint de la maladie coeliaque(180)

- Une radiographie

Elle permettra d'observer un retard de l'âge osseux et chez l'enfant un rachitisme. (187)

V.1.4. La prise en charge de la maladie coeliaque

V.1.4.1. La prévention primaire

Aujourd'hui, la prévention primaire est rendue possible que chez les nourrissons. La société européenne de pédiatrie hépatologie et gastrologie a publié des recommandations sur l'introduction du gluten. En absence d'antécédent familial, le gluten peut être introduit entre 4 à 6 mois. Cela peut être possible, grâce à un lait de deuxième âge plus riche en gluten après 4 mois de vie. Il est recommandé, de manger 3 grammes de gluten par jour. Cette augmentation devra être progressive afin d'atteindre la dose totale en gluten ainsi qu'en céréales. (194)

V.1.4.2. La prévention secondaire

La disparition totale du gluten permet d'éviter les lésions de la muqueuse intestinale. Un régime strict sans gluten exige un arrêt de la consommation d'aliments contenant des

céréales toxiques pour le patient. Il s'agit d'aliments contenant de l'amidon de maïs, de riz, ou même de la fécule de pomme de terre. L'avoine n'est pas recommandée. (195)

V.1.4.3. Un régime sans gluten

V.1.4.3.1. Les aliments autorisés

Heureusement, il existe des aliments dépourvus de gluten. Le patient atteint de la maladie coeliaque, pourra donc en consommer de manière non exhaustive :

- Les légumes : frais, surgelés ou en conserve
- Les fruits oléagineux : noix, noisettes, amandes, pistaches. Il faudra tout de même faire attention au conditionnements en vrac qui peuvent être contaminé par le gluten.
- Les viandes
- La charcuterie
- Les œufs
- Le lait et le fromage
- Les poissons : tous autorisés (crustacés et mollusques)
- Les féculents : pomme de terre, quinoa.

Il sera important de dire aux patients, que tous ces aliments doivent être consommés de façon naturelle et non transformée par la grande distribution. Sinon, il faudra contrôler l'absence de gluten lors de la fabrication. (195)

V.1.4.3.2. Les végétaux contenant du gluten

Des végétaux doivent être exclus du régime strict sans gluten, ce sont les graminées. Il y a le blé, l'orge et le seigle. Le pain est donc un aliment à bannir chez les patients souffrant de maladie coeliaque. Le pain à base de farine de blé de type *Triticum aestivum* contient des prolamines de type α -gliadine, qui sont toxiques chez nos patients. L'épeautre ou le seigle sont aussi à exclure. Le seigle appartient au genre *Secale* et il est de la famille des poaceae. D'un point de vu génétique, ils sont éloignés du blé mais ils contiennent quand même des prolamines de structures identiques à α -gliadine. Le patient ne pourra donc pas consommer de pain ! (195)

V.1.5. L'instauration d'un traitement

Comme vu précédemment, la maladie coeliaque peut entrainer plusieurs signes cliniques non digestifs et non spécifiques. Le signe clinique le plus important et qui peut

arriver tout au long de la vie est la dermatite herpétiforme. Dans un premier temps, il faut adopter un régime strict sans gluten. Cette éviction du gluten doit être à vie. La guérison arrive souvent dans la majorité des cas avec une repousse villositaire intégrale généralement un an après le régime sans gluten. (180) En cas de dermatite herpétiforme, le médecin peut prescrire un traitement antibiotique oral, DISULONE®. La molécule active est le dapsone, une association à l'oxalate de fer avec un anti lépreux pour guérir de la dermatite herpétiforme, à la dose de 100mg - 200mg, en une prise pendant environ sept jours. (195)

Il existe une autre atteinte, une aphtose buccale récidivante. Cette manifestation peut arriver tout au long de la vie des patients. Il s'agit d'un aphte « géant », douloureux rond ou ovale. Nous pouvons les retrouver à la surface de la muqueuse des joues, de la face interne des lèvres, du palais, de la gencives ou de la langue.(196) Souvent ces ulcérations sont dues à une insuffisance en vitamine B9, B12, zinc et en fer. En cas de carence, le patient doit être supplémenté en vitamines et en minéraux.

De plus, le patient pourra utiliser des bains de bouches pour calmer l'inflammation comme par exemple Eludril®, il existe aussi des gels, Pansoral®. (195) En cas de forme grave, les corticoïdes sont utilisés. (197)

V.1.6. Le rôle du pharmacien d'officine

V.1.6.1. Les excipients à effet notoire

Les patients souffrant de cette maladie, peuvent être confrontés à un véritable problème lors de la délivrance de médicament et surtout lors de leurs prises. Beaucoup de médicaments contiennent du gluten sous la forme d'excipient. (198)

Aujourd'hui, il existe sept types d'excipients fabriqués à partir du blé :

- Le gluten,
- La farine de blé,
- Le blé d'amidon : très utilisé en industrie pharmaceutique comme diluant, liant, délitant ou bien lubrifiant.
- Le blé tendre farine,
- L'amidon modifié appelé succinate octénylique d'amidon sodique,
- Blé tendre amidon.

Les sept substances sont notées comme des excipients à effet notoire. A l'heure d'aujourd'hui, il n'existe pas de médicaments « sans gluten ». Il est donc primordial pour ces patients de vérifier la composition de ces spécialités pharmaceutiques avec l'aide du pharmacien. (198)

V.1.6.2. Les conseils du pharmacien

Le pharmacien est un professionnel de santé de proximité, auprès duquel le patient peut se confier. Les patients ont parfois besoin de conseils sur des pathologies bénignes ou lors de symptômes gênants.

Le pharmacien joue un rôle primordial, pour éviter les conseils inadaptés de spécialités pharmaceutiques à base de gluten.

Nous établirons des mesures hygiéno-diététiques les plus courantes destinées à palier aux pathologies les plus fréquentes.

→ En cas de troubles digestifs :

- Constipation : il sera recommandé de boire beaucoup, une bonne hydratation, plutôt riche magnésium (Rozana, Quézac, Contrex). (199) Le pharmacien pourra conseiller aux patients de manger des aliments riche en fibres, comme les légumes, les fruits ou du pain sans gluten. Une activité régulière est recommandée. En terme de traitement, nous conseillerons des laxatifs osmotiques, qui permettent de retenir l'eau dans les selles. Comme par exemple, Lactulose, Macrogol®. Les laxatifs stimulants comme le Bisacodyl®, le Dulcolax® sont déconseillés car ils irritent la muqueuse colique et contiennent de l'amidon qui est un excipient à effet notable. (198)
- Diarrhée : il faut une bonne réhydratation, plutôt lente et riche en électrolytes. Pour le traitement, il sera recommandé de prendre du Lopéramide®, qui permet de ralentir le transit ou le Racécadotril® qui est un anti-diarrhéique anti-sécrétoire. (195)
- Douleurs spasmodiques, troubles de la digestion et ballonnement, un repas léger, à heure régulière, et éviter les boissons gazeuses. Pour le traitement, le pharmacien peut délivrer un antispasmodique à base de phloroglucinol. En revanche, le Spasfon®, n'est pas recommandé car il présente de l'amidon de blé. (200) (201)

→ En cas de fièvre et douleurs :

Un traitement antalgique et un traitement antipyrétique à base de paracétamol est possible. En revanche, le Doliprane® 500mg en comprimé et 1000mg en comprimé ne sont pas recommandés car ils contiennent du gluten. De plus, le Kétoprofène® LP, n'est pas non plus conseillé en raison de la présence de blé. (202,203)

→ En cas de fatigue :

Il sera conseillé d'éviter d'aller au lit tard, d'éviter le sport le soir, l'alcool et le tabac. De plus, les écrans comme l'ordinateur, le portable et la télévision sont aussi à proscrire ou à diminuer. Un repas riche le soir sera déconseillé, car ça peut provoquer des difficultés lors de l'endormissement. (204)

Si le patient veut un traitement, nous pourrions lui conseiller de la vitamine C® ou de l'Acérola. Le magnésium peut aussi être conseillé pour réduire la fatigue. En revanche, on lui déconseillera le Mégamag® et le Berocca® qui contient des excipients à effet notoire.(205)

V.2. L'allergie au blé

L'allergie alimentaire est une réaction anormale du système immunitaire à certaine substance contenue dans un aliment. Ici, la substance mise en cause est le blé. (206) L'allergie au blé est une réaction allergique immédiate ou retardée. La réaction immédiate sera à médiation IgE alors que la retardée à médiation cellulaire. La réaction immédiate survient très rapidement après l'introduction du blé. Souvent il peut y avoir une anaphylaxie cutanée qui apparaît en quelques minutes. En revanche, la réaction de type retardée n'apparaît que plusieurs heures après l'ingestion. (207)

L'allergie au blé se déroule sous différentes formes pouvant être confondues avec une maladie coeliaque. L'allergie au blé se retrouve fréquemment chez les nourrissons ou les enfants en bas-âge mais elle disparaît lors de l'avancée en âge. En revanche, c'est plutôt rare chez les adultes. Il est donc important de distinguer une allergie au blé de la maladie coeliaque. (208)

Au niveau des chiffres, le nombre de personnes allergique au blé varie entre 11 et 25%. D'après une étude, l'allergie au blé est plus fréquente en Europe du Nord qu'en Europe du Sud. Cela est dû aux habitudes alimentaires qui sont différentes. (209)

V.2.1. L'étiologie et la pathogenèse

Le blé est la céréale qui déclenche le plus souvent une allergie. Cela est causé par les protéines qui le composent. Il y en a trois : l'albumine, globuline et gluténine qui sont majoritaires. L'albumine et la globuline sont retrouvées dans l'enveloppe du grain, alors que la gluténine est à l'intérieur de l'albumen du grain.

L'allergie au blé est une réaction immunologique dirigée contre le blé. Comme dans la maladie coeliaque, le gluten qui contient la gliadine est l'allergène majeur. Chez l'adulte, l'anaphylaxie au blé induite par l'effort serait causée par l' ω -5-gliadine thermostable. En revanche chez l'enfant qui a une dermatite atopique avec ou sans asthme, les substances responsables seraient la gliadine et l'albumine.

V.2.2. Les symptômes de l'allergie au blé

Une allergie peut toucher plusieurs organes comme le visage, le corps, ou bien des manifestations pulmonaires et ou gastro-intestinale. Malheureusement ces symptômes ressemblent de très près à ceux de la maladie coeliaque.

Les symptômes d'une allergie au blé sont très variables. Il y a les symptômes classiques de l'allergie : démangeaisons et gonflement des muqueuses. Mais il peut aussi avoir des troubles non spécifiques du tractus gastro-intestinal. Lors d'une allergie, la réaction peut être immédiate ou retardée. Lors d'une réaction immédiate, il s'agit presque que de réactions cutanées de type gonflement du visage, démangeaison ou irritation au niveau du nez, des yeux, de la gorge et de la bouche. Au niveau de la peau nous pouvons observer un eczéma atopique ou un urticaire. Alors qu'en cas de réaction retardée, la manifestation peut arriver plusieurs heures voire un à deux jours après l'ingestion de blé, et cela se traduit souvent par des troubles gastro-intestinaux. Au niveau digestif, les symptômes sont

identiques à ceux de la maladie coeliaque, spasmes, nausées, vomissements, ballonnements et diarrhées. Au niveau des voies respiratoires, il est possible de faire des crises d'étouffements ou des crises asthmes. (210)

De plus, une allergie au blé peut parfois entraîner une anaphylaxie induite par l'effort. Cela signifie que le patient consomme des aliments à base de blé après un effort sportif et ça peut se traduire par un choc anaphylactique qui peut être vital. (210)

Des cas particuliers de patients souffrant d'oesophagite à éosinophiles ont été découverts. Il s'agit d'une inflammation chronique des muqueuses de l'oesophage causée par une allergie au blé. L'oesophagite à éosinophiles (OoE) est une réponse immunitaire massive à des allergènes dits exogènes. Ça peut provoquer des sténoses c'est à dire une diminution de l'oesophage, mais aussi une diminution de l'élasticité de l'oesophage. Le patient va avoir des difficultés à déglutir, surtout les aliments solides, nous parlons de dysphagie. Aujourd'hui, aucun traitement n'a été découvert. Le seul traitement est un régime hypoallergénique supprimant six allergènes majeurs du blé, cela permet de réduire de 70% les symptômes de l'oesophagite à éosinophile. (210,211)

V.2.3. Le diagnostic

Pour diagnostiquer une allergie au blé, il est recommandé d'aller voir un allergologue. Il va effectuer des recherches des IgE et réaliser des pricks tests cutanés. Tout d'abord comme toutes les allergies, le patient doit observer et noter sur un cahier quand les symptômes apparaissent, il est important de noter tout ce que le patient a mangé pour pouvoir faire des corrélations. Dans un second temps, l'allergologue va pratiquer un test d'anticorps spécifiques IgE puis réaliser des pricks tests cutanées.

Le prick test est un test cutané permettant de mettre en évidence les allergènes responsables d'une réaction allergique. Les tests cutanés consistent à tester la réaction de la peau au contact d'un allergène, ici le blé. Ce test est réalisé sur une zone de peau saine, l'avant bras, le bras ou le dos. L'allergologue dépose une goutte de l'allergène sur la peau et avec une microlance, il pique légèrement la peau, pour que la goutte s'introduit au niveau de l'épiderme. Le médecin mettra une goutte d'histamine (témoin) pour comparer le résultat de l'allergène. Si le patient réagit, alors il y aura un gonflement et une rougeur qui s'accompagne d'une démangeaison. La lecture du test se fera au bout de 15 minutes et consiste à mesurer le diamètre de la rougeur. Et il faudra la comparer au témoin. Le test est positif si l'induration est supérieure à 3mm par rapport au témoin négatif (son diamètre est nul). (212)

Le dosage des IgE spécifiques nécessite une prise de sang. Les immunoglobulines E sont des anticorps présents dans l'organisme. Comme tous les anticorps, leur structure ressemble à un Y et dispose deux chaînes lourdes et deux chaînes légères. Les anticorps sont fabriqués par des plasmocytes dérivés des lymphocytes B à la suite d'un contact avec un allergène. Le taux IgE chez un patient non allergique doit être inférieur à 150 UI/ml. Si le taux des IgE est supérieur à 150UI/ml un terrain allergique est probable. (213)

V.2.4. Le traitement

Actuellement, aucun traitement n'a vu le jour pour traiter l'allergie au blé. La seule solution est de bannir plus ou moins le blé de l'alimentation. Mais cela reste très difficile car en France, le blé reste un aliment de base que nous retrouvons dans de nombreux aliments comme par exemple le pain, les pâtes, mais aussi la farine, la semoule... le blé est aussi

retrouvé dans la charcuterie, les produits panés, les sauces, les soupes industrielles, les produits sucrés comme les bonbons mais aussi les plats préparés. Les produits suffisamment cuits seront parfois mieux tolérés. Il sera recommandé d'aller voir une diététicienne pour pouvoir pallier à cette allergie. (214)

La mise en place d'un régime sans blé est lourde. Il faut supprimer non seulement les aliments à base de blé mais il faut aussi avoir une alimentation variée et équilibrée. Il faudra veiller à un apport suffisant en zinc et en acide folique mais aussi en fibres. Le blé peut être remplacé par le sarrasin et ou le quinoa. L'avoine reste contre indiqué, car il peut être contaminé par le blé lors de la production. Le patient devra lire la liste des ingrédients qu'il va acheter en grande surface. Cela est indispensable lors d'un régime sans blé. Le pharmacien ou le diététicien pourra l'aider en lui indiquant les produits à base de blé : le gluten, boulgour, couscous, blé dur, farine de blé, l'amidon, son de blé, malt de blé, protéine de blé, la chapelure et l'épeautre. Tous ces aliments contiennent des protéines à base de blé et ça peut déclencher une allergie. (214)

V.3. Hypersensibilité au gluten non coeliaque

En France, beaucoup de personnes pensent souffrir d'une « intolérance au gluten » mais celui-ci est un abus de langage. Une « intolérance au gluten » signifie être atteint de la maladie coeliaque. Le terme juste est « hypersensibilité au gluten non coeliaque », les symptômes sont intestinaux ou extra-intestinaux. Le tableau clinique ressemble de très près à celui de la maladie coeliaque. Lors d'hypersensibilité au gluten non coeliaque, il n'y a ni présence d'auto-anticorps ni d'anticorps anti-transglutaminases tissulaire. De plus, d'un point de vue histologique, la muqueuse de l'intestin grêle présente quelques minimes lésions qui sont classés entre 0 et 1 dans la classification de Marsh. (215) Au niveau pathogène, il s'agirait d'une réaction immunologique jusqu'à présent inexpliquée par la société scientifique. Ils représenteraient 13% de la population.(179)

V.3.1. Les causes

Aujourd'hui, nous pouvons seulement affirmer qu'il s'agit ni d'une réaction auto-immune ni d'une réaction allergique. A l'inverse de la maladie coeliaque, il n'y a aucun anticorps auto-immun qui est à l'origine de la sensibilité au gluten non coeliaque mais les chercheurs pensent que des mécanismes immunologiques peuvent se cacher derrière cette manifestation. Actuellement, ils ont trouvé un dysfonctionnement avec une augmentation de l'expression des récepteurs TL-4 (TLR4) lors d'ingestion de gluten ou de substances associées. La recherche a démontré que cette hypersensibilité pourrait être causée par des inhibiteurs de l'amylase/ trypsine (ATI). Les ATI sont des composés protéiques retrouvés naturellement dans les céréales comme le blé, qui leurs permettent d'être plus résistant aux insectes. (215) (216)

V.3.2. Les symptômes

Très souvent les symptômes sont peu spécifiques et ressemblent à ceux de la maladie coeliaque se traduisant par des troubles intestinaux et extra-intestinaux. Le tableau clinique n'est pas caractéristique, il est donc difficile de savoir de quoi souffre le patient. Les principaux symptômes sont les maux de ventre. Mais chez certains patients des maux de

tête ou une fatigue chronique peuvent apparaître. Certains patients tolèrent en faible quantité le gluten, et ils ne sont pas obligés d'exclure définitivement le gluten à la différence des patients souffrent de la maladie coeliaque. (217,218)

Les symptômes fréquents lors de sensibilité au gluten non coeliaque sont des troubles gastro-intestinaux comme une diarrhée ou des nausées, des ballonnements, des maux de ventre, des maux de tête, des douleurs épigastriques, une oppression, une confusion mentale, parfois des reflux gastro oesophagien, des douleurs musculaires et articulaire type fibromyalgies, et aussi des dermatites, des éruption cutanées, une anémie et quelques fois une dépression. (217,218)

V.3.3. Le diagnostic

Tout d'abord, pour diagnostiquer une hypersensibilité au gluten non coeliaque, il faut exclure une maladie coeliaque ainsi qu'une allergie au blé. Le diagnostic est simple, le patient va faire un régime sans gluten pendant un certains temps, si les symptômes disparaissent ou régressent le diagnostic de la sensibilité au gluten non coeliaque est confirmé. Les symptômes mettent environ quelques jours à quelques semaines avant de disparaître totalement.

Dans un premier temps, le patient va devoir s'alimenter normalement c'est à dire consommer du gluten, avant d'effectuer un diagnostic. Cela va permettre de mettre en évidence les symptômes qui correspondent bien à ceux de l'hypersensibilité au gluten non coeliaque. (219)

Dans un second temps, il faut exclure la maladie coeliaque ainsi qu'une allergie au blé. Pour exclure une maladie coeliaque, les médecins vont doser les anticorps et faire une biopsie. Le dosage des anticorps permet d'écarter un déficit en IgA et une biopsie de l'intestin grêle permet d'exclure définitivement la maladie coeliaque car une sensibilité au gluten non coeliaque ne provoque pas d'atrophie villositaire. Pour éliminer une allergie au blé, les allergologues vont réaliser un dosage des anticorps IgE et effectuer un test cutané allergologique, le prick test. (219)

Dans un troisième temps, les spécialistes vont rechercher des anticorps anti-gliadine de type IgG. Ce sont des anticorps qui sont révélateurs d'une sensibilité au gluten non coeliaque. Lors d'un bilan histologique normal et si le dosage des anticorps anti-gliadine de type IgG est retrouvé, le patient est susceptible d'être atteint d'une sensibilité au gluten non coeliaque. (220)

Pour terminer le patient devra faire un régime sans gluten. Si le patient souffre vraiment d'une sensibilité au gluten non coeliaque, les symptômes doivent disparaître au bout de quelques jours voir semaines. Ce régime doit être fait sur une période d'environ 6 semaines afin de pouvoir établir une corrélation entre les troubles et l'alimentation sans gluten. Pour finir, pour confirmer le diagnostic, le patient devra effectuer une nouvelle exposition au gluten. Le patient réintroduit le gluten dans son alimentation. Si les symptômes réapparaissent dans les deux jours, il faut réaliser un test de provocation au gluten, afin de vérifier qu'il ne s'agit pas d'un effet placebo (figure 25).(219)

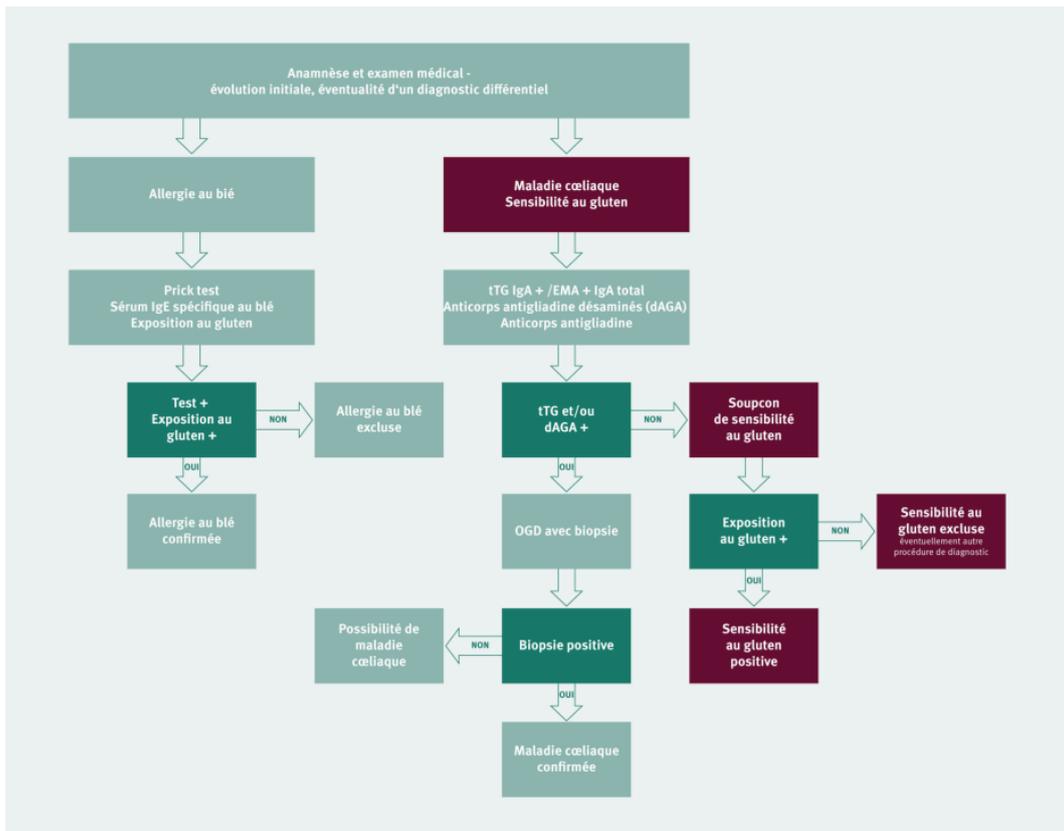


Figure 25 : Diagnostic par étapes des différentes maladies causées par le pain(219)

V.3.4. La thérapie

Le traitement de l'hypersensibilité au gluten non coeliaque est le même que celui de la maladie coeliaque. Le patient doit exclure définitivement tout gluten. Avant d'exclure définitivement le gluten, il faut être sûr que le patient souffre de cette maladie. Comme vu précédemment, il faudra faire un régime sans gluten pendant quelques semaines puis réintroduire le gluten et, si les symptômes réapparaissent, le diagnostic est posé et le régime sans gluten peut être mis en place. (221)

A la différence de la maladie coeliaque, où le gluten doit être à bannir, les patients sensibles au gluten non coeliaque, supporte le gluten en faible quantité. Il faudra donc réaliser un régime « pauvre en gluten ». Une alimentation pauvre en gluten peut suffire pour éviter l'apparition des troubles. La tolérance au gluten est propre à chacun. (123)

Attention, certains patients peuvent ne pas voir leurs symptômes s'améliorer lors de la mise en place d'un régime sans gluten. Des études ont prouvés que ces patients souffraient du syndrome de l'intestin irritable. Pour le syndrome de l'intestin irritable, le patient devra adopter un régime pauvre en oligosaccharides, disaccharides, monosaccharides et polyols fermentes cibles (FODMAP). (222)

V.4. Les maladies professionnelles connues chez les boulangers

Les maladies professionnelles dues à l'activité de boulanger sont assez multiples et sont en forte augmentation depuis quelques années. Entre 2018 et 2019, ces pathologies

ont augmenté de 19,5%. Très souvent ces maladies sont liées aux conditions du métier de boulanger. Pour mieux se protéger il est nécessaire de prendre de nouvelles habitudes préventives. Les chefs d'entreprises doivent sensibiliser leurs salariés aux risques qu'ils exposent et aux mesures préventives à adopter. Ces conditions difficiles de travail entraînent en moyenne pour une maladie professionnelle 230 jours d'arrêt. Les deux maladies professionnelles reconnues par le métier de boulanger sont l'asthme et les allergies à la farine. (223) Aujourd'hui, parmi les professionnels qui déclarent un asthme comme maladie professionnelle, 1 sur 4 est boulanger. (224)

V.4.1. L'asthme

En France, 4 million de personnes souffrants d'asthme. Cette pathologie n'est pas bénigne, l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) estime quelle cause 900 décès par an. Aujourd'hui, l'asthme sévère n'est pas rare, près de 6% des patients asthmatiques souffrent d'un asthme sévère. En 2015, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a recensé 383 000 décès causés par l'asthme dans le monde et il y aurait 235 millions de patients atteints de cette pathologie. L'asthme est une maladie chronique des voies respiratoires, fréquente et potentiellement grave. Cette maladie se caractérise par une obstruction bronchique réversible, spontanément. Heureusement, l'asthme peut être traité efficacement par des médicaments. L'inflammation rend les bronches sensibles, nous parlons d'hyperréactivité. Les symptômes sont variables en fonction des patients : respiration sifflante, essoufflement, toux et oppression thoracique. L'asthme affecte toutes les personnes de tous âges à travers le monde. (225)

V.4.2. L'exposition professionnelle

Le lieu de travail est un endroit dans lequel nous passons près d'1/3 de notre temps par jour. D'après l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE), en 2020, le taux d'activité en France des 25-64ans, était de 79,3 %.(226) Les expositions professionnelles sont souvent des expositions potentiellement dangereuses pour la santé. Une maladie est dite professionnelle si elle est la conséquence directe de l'exposition d'un travailleur. Les agents peuvent être d'origine chimique, biologique et parfois physique. Les modes d'expositions professionnelles à ces agents sont variables. Les maladies professionnelles peuvent être inhalée, cutanées et/ ou ingérées. Le nombre de décès liés au travail s'estime à environ deux millions chaque année. Les principales causes de décès sont les pneumopathies obstructives chroniques qui représentent 450 000 décès par an dans le monde. (227)

Les trois maladies professionnelles les plus fréquentes sont : les troubles musculo-squelettiques, (qui représentent 78%), les affections causées par l'amiante (18%) il s'agit du cancer broncho-pulmonaire, du cancer de la plèvre ou du péritoine, le mésothéliome et pour terminer le cancer (4%).(228)

Lors d'une exposition professionnelle, il est important d'estimer le niveau réel des expositions des travailleurs. Il faut objectiver l'évaluation des risques en déterminant si le niveau des expositions respecte ou non les limites fixées par la réglementation, pour cela il faut comparer des valeurs limites d'expositions professionnelles (VLEP) ou des valeurs limites biologiques (VLB). Les valeurs limites d'exposition professionnelle sont institués uniquement pour des agents chimiques. Ces valeurs sont énoncées sous forme de

concentration dans l'air d'une substance chimique, pour un temps d'exposition déterminé. D'après l'Agence Nationale de la Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES), en dessous de ces concentrations, le risque pour la santé est négligeable. La mesure de l'exposition peut se faire par des mesures atmosphériques, prenant en compte que l'exposition par voie respiratoire ou par dosages biologiques, qui, dans ce cas, prennent en compte toutes les voies d'exposition.(229)

V.4.3. L'asthme professionnel (AP)

L'asthme professionnel, fait parti d'une exposition professionnelle. Il touche certaines professions comme les boulangers, les pâtisseries, certains professionnels de santé, les coiffeurs, les peintres... Les boulangers peuvent devenir asthmatiques à cause de la farine et de certains contaminants de la farine. De nos jours, les facteurs qui favorise l'asthme ont été estimé à plus de 250 contre 150 en 2000(230). Près de 50 à 90% des cas d'asthme professionnel sont déclarés par des agents de haut poids moléculaire tels que la farine, le latex, les protéines animales... ou de petit poids moléculaire comme les sels de persulfates, les poussières de bois ou les métaux. (231)

L'asthme professionnel est caractérisé comme un asthme déclenché ou aggravé par une substance inhalée sur le lieu de travail. Il est donc important de proposer une éviction au risque, mais parfois cela n'est pas toujours possible pour le travailleur. Dans tous les cas, il est nécessaire de mettre en place un traitement de fond. De plus, lors d'un asthme, la composante allergique de l'asthme doit être considérée. Il est possible qu'un boulanger se sensibilise progressivement aux allergènes présents dans la farine. Ici, les boulangers, pâtisseries représentent environ 20% des asthmes professionnels, 29% chez les hommes et 5% chez les femmes. Le principal agent reste la farine mais d'autres allergènes peuvent rentrer en cause comme les enzymes utilisées qui améliorent la farine : alpha-amylase, cellulase et les contaminants de la farine : acariens de stockage, papillons, blattes. (232)

L'asthme au travail et plus précisément l'asthme professionnel se divise en deux catégories : l'asthme avec une période de latence et l'asthme sans période de latence. L'asthme avec une période de latence est la forme la plus fréquente. Une période de latence est nécessaire pour entrainer une sensibilité et provoquer l'asthme. Cela est causé par des agents professionnels souvent de hauts poids moléculaires comme, les protéines la farine en fait partie et de faibles poids moléculaires comme les agents chimiques.(233) (234)

L'asthme sans période de latence est un asthme récemment connu, il y a une absence de période de latence. Nous parlons aussi de « syndrome d'irritation bronchique ». (234) Cet asthme est non immunologique, il s'agit seulement d'un mécanisme irritatif (figure 26). (235)

CLASSIFICATION DE L'ASTHME PROFESSIONNEL

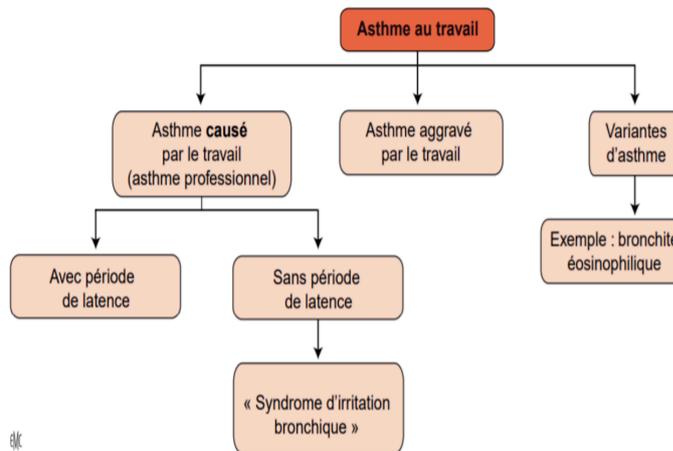


Figure 26 : Différents asthmes professionnels, incluant l'asthme avec et sans période de latence

V.4.3.1. La physiologie de l'asthme professionnel (AP)

La physiologie de l'AP est complexe, cela est dû à l'intervention de mécanisme très divers, ce qui explique les obstacles rencontrés lors de la prise en charge. Entre AP et l'asthme classique, il y a des ressemblances : une inflammation des voies aériennes, une hyperactivité bronchique non spécifique aux médiateurs cholinergiques et à l'histamine et un rétrécissement des voies aériennes.

V.4.3.1.1. L'inflammation des voies aériennes

Lors d'un asthme classique, les réactions inflammatoires qui apparaissent en réponse à une infection grave, ou à des toxines se déclenchent en absence de ces facteurs. En revanche, lors de l'inhalation d'un allergène, comme la farine par exemple, une réaction asthmatique se déclenche, les symptômes arrivent en 15 minutes et disparaissent après une heure. Le mécanisme est le suivant, les allergènes vont venir activer les mastocytes des voies aériennes actionnaires d'anticorps IgE spécifiques, cela entraîne une dégranulation cellulaire et libère des médiateurs de l'inflammation, tel que l'histamine et les eicosanoïdes. L'histamine et les eicosanoïdes provoquent une hypersécrétion de mucus et la fuite de plasma des vaisseaux sanguins, cela provoque un œdème avec un épaissement des parois bronchiques ainsi qu'un blocage de la lumière des voies aériennes. Sur le long terme, une inflammation chronique est causée par le remodelage des voies aériennes. Il s'agit d'un pseudo épaissement de la membrane basale, une hypertrophie des glandes à mucus, une hyperplasie musculaire et des modifications de la matrice extracellulaire. Un épaissement des parois bronchiques est déjà mis en place à cause de l'inflammation et du remodelage, une contraction même faible des muscles lisses bronchiques peut provoquer une importante augmentation de la résistance des voies aériennes. (236)

V.4.3.1.2. Hyperréactivité bronchique (HRB)

L'hyperréactivité bronchique (HRB) est une réaction bronchique exagérée. Il s'agit d'une réaction précise et majorée des bronches lors d'une exposition à un allergène, à un irritant ou lors d'un effort physique. L'HRB entraîne une diminution du diamètre bronchique. Il y a 99% des asthmatiques qui ont une hyperréactivité bronchique mais aussi 50% des patients porteurs de rhinites allergiques. Pour définir un asthme, l'hyperréactivité bronchique n'est donc pas suffisante pour définir l'asthme. (236)

Le sujet asthmatique présente une réaction immunitaire excessive vis à vis d'un allergène. Lors de l'inhalation d'un agent allergène tels que la farine, il va y avoir une activation des anticorps qui libèrent des médiateurs chimiques. Cela induit une allergie respiratoire qui associée avec une inflammation, altèrent progressivement la muqueuse bronchique. Une inflammation chronique se manifeste, l'asthme s'aggrave et cela risque de devenir chronique. Avant d'instaurer un traitement spécifique, il est nécessaire d'identifier les causes de cette hyperréactivité. Nous parlons d'hypersensibilité bronchique spécifique, d'asthme allergique ou atopique lorsque les allergènes sont identifiés. Souvent, ces allergènes sont présents dans l'air comme par exemple les moisissures, le pollen ou la farine. En revanche, l'hyperréactivité bronchique non spécifique est définie lorsque les allergènes ne peuvent pas être mis en évidence. Dans tous les cas, il est primordial de rechercher les facteurs aggravant de la maladie, par exemple, le stress, un tabagisme ou un effort physique. (237)

V.4.3.1.3. Obstruction bronchique

Lors d'une obstruction bronchiques trois composantes sont souvent présentes mais avec une intensité variable en fonction des patients (figure 27)

- Le bronchospasme :

Le muscle lisse bronchique entoure l'ensemble des voies aériennes. Les bronches sont de calibre plus ou moins grand en fonction de leur position. Les petites bronches sont situées en distalité. Plus les bronches touchées par le bronchospasme sont grosses, plus le retentissement est grave. Le bronchospasme est une contraction musculaire involontaire. Cette contraction entraîne une fermeture de la bronche et donc des difficultés respiratoires. L'air ne passe plus ou peu dans les bronches ce qui produit un sifflement lors de la respiration. Cette contraction est réversible, soit de façon spontanée, soit sous l'effet de médicament : les bêta-2-mimétique type Ventoline® par exemple. (238)

- L'inflammation des voies aériennes provoquant un œdème :

L'œdème est responsable des variations rapides du calibre des bronches. L'inflammation se traduit par un gonflement de la paroi intérieure des bronches ; il s'agit d'un œdème bronchique. (239)

- Modification des sécrétions bronchiques, abondantes et épaisses :

Les glandes à mucus, situées dans la sous-muqueuse bronchique, jouent un rôle dans l'augmentation de la paroi bronchique et dans l'hypertrophie (augmentation anormale d'un organe). Le mucus est une substance visqueuse qui tapisse l'intérieur des bronches et qui permet d'éliminer les particules inhalées. Cela aboutit à une diminution du calibre des bronches et donc à la réduction du flux aérien, principalement lors de l'expiration (figure 27). (239)

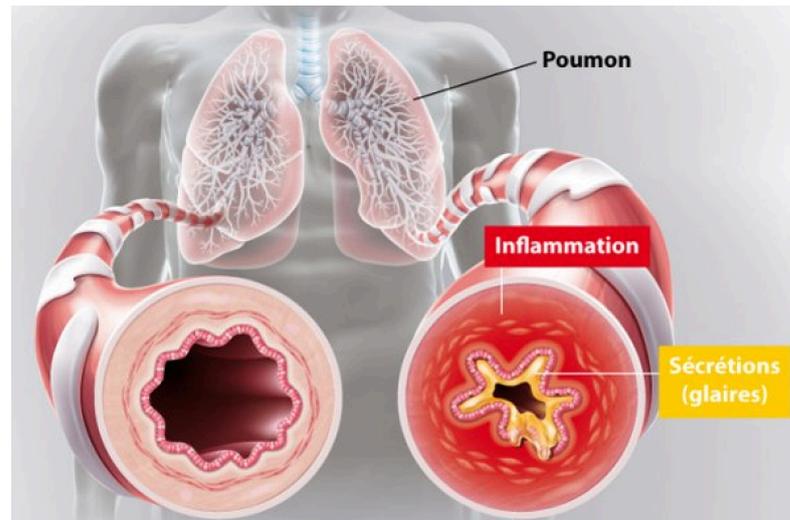


Figure 27 : Coupe bronchique transversale chez un sujet sain et chez un sujet asthmatique(240)

V.4.3.2. Diagnostic de l'asthme professionnel

Il y a trois objectifs principaux pour diagnostiquer un asthme professionnel. Tout d'abord, il faut établir le diagnostic d'asthme le plus rapidement possible. Ensuite, il faut établir l'origine professionnelle et, pour terminer, il faut identifier les agents responsables de cet AP.(241)

Une approche joignant des tests objectifs et une anamnèse exhaustive est primordiale pour permettre un diagnostic fiable de l'AP. Pour commencer, l'interrogatoire est un élément clef de l'investigation de l'asthme professionnel. Les éléments évocateurs sont l'apparition de symptômes en période de travail et l'amélioration lors des repos.(241)

V.4.3.2.1. L'examen clinique

Lors d'un asthme professionnel, l'histoire clinique est typique. Pendant son travail les symptômes apparaissent tandis que lorsque le patient est en congé ou en jours de repos les symptômes disparaissent.

L'anamnèse est un élément capital lors d'une suspicion d'asthme. Au delà des symptômes évocateurs de la maladie : difficultés respiratoires, oppression thoracique, toux, sifflement, il faut rechercher d'autres signes cliniques pouvant être associés, comme une rhinite, des manifestations cutanées ou des conjonctivites (figure 28). (236)

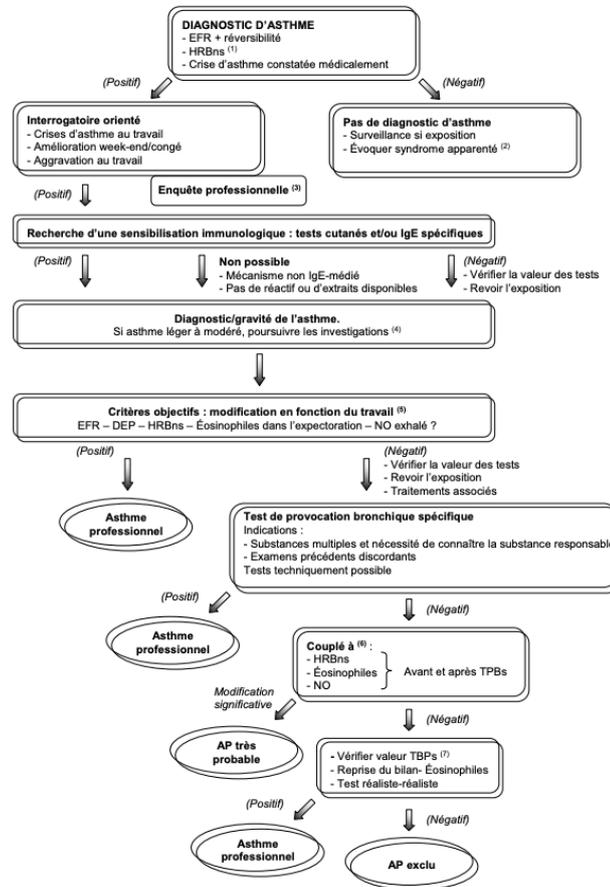


Figure 28 : Algorithme décisionnel de l'asthme professionnel (241)

V.4.3.2.2. Investigations immunologiques

Un test immunologique est un test biochimique qui permet de mesurer la concentration d'une macro ou micromolécule dans une solution grâce à un anticorps ou parfois une immunoglobuline. (242) L'investigation immunologique consiste à décrypter le fonctionnement du système immunitaire pour comprendre certaines maladies comme l'asthme.(243)

- Les tests cutanés ou prick tests :

Tout d'abord, les tests cutanés permettent de déterminer si le patient est sensible ou non à un allergène. Cet allergène peut être variable en fonction des patients, des aliments, des poils d'animaux, des acariens, des éléments présents dans l'environnement comme le pollens. Ce test va provoquer, ou non, une réaction immunologique. Avec les tests cutanés il y a deux mécanismes de l'allergie qui vont pouvoir être évalués : (244)

- ✦ En cas d'allergie immédiate, il y a l'intervention des anticorps IgE, la lecture du test se fait en 15 minutes. Ce mécanisme est observé grâce à des prick tests et une réaction intradermique va apparaître. (244)
- ✦ Lors d'une allergie retardée, ce sont les globules blancs, les lymphocytes qui vont intervenir. Ce mécanisme est évalué par intradermoréaction et les patchs tests ont une lecture entre 48 et 96 heures. (244)

La réalisation d'un prick tests a lieu sur l'avant bras ou le dos. L'allergologue dépose des gouttes de l'allergène à tester (farines, moisissures, pollens, poussières) sur la peau du patient (figure 29). Avec une petite pointe, il pénètre l'agent à 1mm de profondeur, l'allergène est introduit juste en dessous de la peau, cela permet de mettre en contact les cellules qui interviennent dans la réaction allergique. Si le test s'avère positif, un érythème et une papule apparaissent. Cela disparaît au bout d'une heure. Si le test est négatif rien ne se passe, la peau reste normale (figure 29, 30, 31). (244)



Figure 29 : Dispersion de gouttes d'allergènes sur la peau(245)

Figure 30 : Pointe permettant d'introduire l'allergène sous la peau(245)



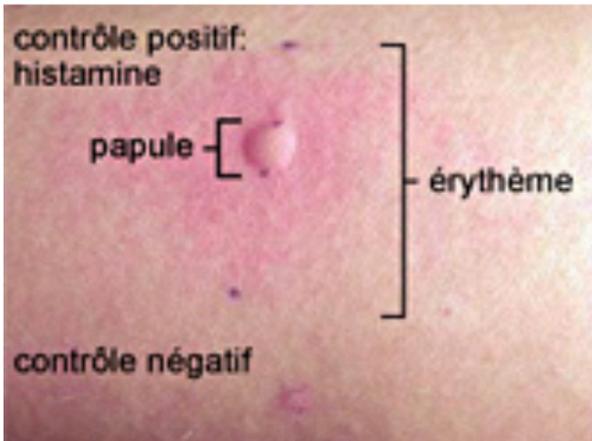


Figure 31 : Prick test positif(245)

Il existe une autre méthode, l'intradermoréaction (IDR). C'est une technique qui ressemble au prick test mais l'allergène est introduit grâce à une seringue munie d'une aiguille courte et fine (figure 32). L'IDR permet de tester une plus grande quantité d'allergènes directement sous la peau. Souvent, les substances à tester sont des médicaments ou du venin et non des allergènes. Le temps de lecture est identique au prick test soit, 15 minutes mais il est possible que l'allergologue demande au patient de revenir 6h, 24h, 48h, ou 72h pour réaliser une lecture tardive. Ces injections ont le plus souvent lieu dans la partie externe du bras. En cas de test positif, un érythème, une papule et des apparaissent là où la substance a été injectée). (244) (246)



Figure 32 : Réalisation d'une intradermoréaction (IDR) (246)

Pour terminer l'énumération des tests cutanés, une autre méthode existe, le patch-test. (figure 33) Celui-ci est souvent utilisé lorsque les médecins suspectent une allergie de contact (eczéma) à un produit de la vie courante (lessive, shampoing). Ce test se réalise sur la partie supérieure du dos, et il est laissé environ 3 jours sur le patient avant la lecture. Il suffit de déposer une goutte du produit à tester sur la peau et d'appliquer le patch dessus, l'allergologue couvrira ce dernier avec un pansement protecteur. Les spécialistes réalisent une première lecture au bout de 2-3 jours puis une lecture finale à 5 jours.(246) Si le test est positif (figure 34), une papule localisée, un érythème auront lieu (figure 35). (247)



Figure 33 : Application de patchs tests au niveau du dos (248)

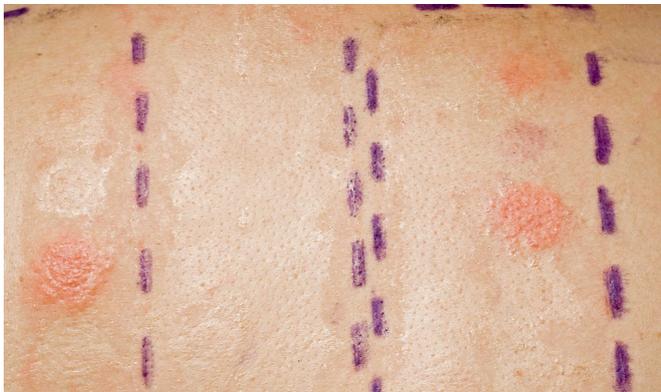


Figure 34 : Patchs tests positif, avec papule et érythème visibles. (248)



Figure 35 : Forte réaction à un produit, fortement positif au patch test avec présence d'érythème et de papules (248)

- Les tests sérologiques :

Il est important de réaliser un test sanguin pour les allergies car les tests cutanés donnent des faux positifs dans environ 15% des cas. Ces tests sérologiques permettent une meilleure prise en charge du patient allergique. La prise de sang est souvent effectuée dans un laboratoire d'analyse ou dans un service d'allergologie de l'hôpital. Une prise de sang sera réalisée puis il y aura une analyse du sang. Ce sont les analystes qui vont déceler s'il y a une présence anormale d'anticorps IgE, l'allergie sera alors prouvée. Aujourd'hui, les

analystes déterminent avec précision la protéine allergène du patient. C'est très pratique pour trouver un traitement adapté comme par exemple immunothérapie spécifique. (249)

Il existe plusieurs tests sanguins de l'allergie, les tests des IgE totaux, les tests des IgE spécifiques et le dosage des tryptases. (249)

Les tests des IgE totaux reposent sur l'utilisation d'un anticorps qui va reconnaître la chaîne lourde des immunoglobulines E existant dans le sérum du patient. (250) Les IgE sont les anticorps impliqués dans les réactions allergiques. Leur présence en grand nombre explique la pathologie allergique. Le taux d'IgE est normalement inférieur à 150UI/ml. Si le taux est supérieur à celui-ci, une allergie ou un terrain allergique est probable (250). Toutefois, les IgE sont peu spécifiques et peuvent être présents en grande quantité dans d'autres maladies. Ils permettent de préciser l'existence d'une atopie mais ne peuvent, seuls, orienter sur le diagnostic.(249)

Les tests des IgE spécifiques, consistent à réaliser une prise de sang et à observer si le sérum contient des anticorps spécifiques de l'allergie et surtout contre quels allergènes ils sont dirigés. L'allergologue peut noter sur l'ordonnance la recherche du dosage de 5 allergènes aériens et 5 aliments. Souvent les médecins demandent le dosage des protéines de l'allergène qui sont des marqueurs de gravité ou de réaction croisée. (249)

Le dosage des tryptases est effectué en cas d'urgence lors d'une réaction allergique sévère ou d'un choc anaphylactique. Ce dosage est un bon indicateur de l'activation des mastocytes. Les mastocytes sont de grandes cellules que nous retrouvons dans tous les tissus du corps (peau, muqueuses intestinales, moelle osseuse). Ce sont les mastocytes qui libèrent de la tryptase en cas de blessure ou lors d'une réaction allergique. (251) Ce test se fait sur trois échantillons. Le prélèvement a lieu dans les 30 minutes qui suivent la réaction, puis 2 heures après et pour finir 24 heures après. Ce dosage est souvent réalisé en cas de choc à un médicament lors d'une intervention au bloc opératoire. (249)

Une fois les tests cutanés et sanguins réalisés, le patient sait s'il souffre d'asthme allergique ou non. Mais d'autres examens sont nécessaires pour qualifier la maladie de « professionnelle ».

V.4.3.2.3. Explorations fonctionnelles respiratoires (EFR)

Les explorations fonctionnelles respiratoires consistent à contrôler le bon fonctionnement des poumons. L'EFR comprend plusieurs examens, le plus pratiqué est la spirométrie. Il existe aussi la pléthysmographie et la gazométrie.

EFR consiste à souffler dans un embout relié à un appareil de mesures. Il va mesurer les volumes d'air inspiré et expiré (figure 36 et 37). Les mesures d'intérêt sont : le volume expiratoire maximal seconde (VEMS), la capacité vitale forcée (CVF), le rapport VEMS/CVF et le débit expiratoire de pointe (DEP). Le VEMS représente le volume maximal que le patient peut expirer en 1 seconde après une profonde inspiration. Le CVF correspond à l'amplitude respiratoire maximale. Le rapport VEMS/CVF est un outil de diagnostic, de suivi et de pronostic d'une pathologie respiratoire. Le DEP, mesure le volume d'air maximal expiré en une expiration forcée. Cet examen est réalisé au cabinet d'un médecin généraliste ou chez un pneumologue.(252)



Figure 36 : Spiromètre inséré dans la bouche d'un patient (253)



Figure 37 : Spiromètre (254)

La pléthysmographie mesure l'ensemble des volumes pulmonaires, y compris le volume résiduel (figure 38 et 39). Le volume résiduel, est une quantité d'air restant dans les poumons. A la différence de la spirométrie, cet examen est réalisé dans une cabine fermée, le patient est assis sur un siège. (figure 38 et 39). La pléthysmographie permet de diagnostiquer des syndromes restrictifs comme les fibroses pulmonaires, les pneumopathies interstitielles diffuses ou les distensions thoraciques comme les emphysème. (254)



Figure 38 : Cabine fermée pour réaliser la pléthysmographie (254)



Figure 39 : Vue intérieur d'une cabine pour réaliser une pléthysmographie (252)

Il reste dans les EFR, la gazométrie, il s'agit d'une prise de sang dans l'artère radiale du poignet (figure 40). Cette méthode d'analyse permet d'étudier la fonction respiratoire et l'équilibre acidobasique du patient. Son principe est simple, les substances gazeuses se dissolvent dans les solutions aqueuses. Le sang peut donc contenir des gaz dissous comme l'oxygène et le gaz carbonique. Ceci est le reflet de la fonction pulmonaire d'échange, l'hématose.(255)



Figure 40 : Prélèvement du sang artériel pour réaliser la gazométrie (254)

Ces trois examens sont utilisés dans de nombreuses situations en pneumologie et notamment pour le diagnostic et le suivi des maladies respiratoires chroniques comme la bronchite obstructive (BPCO), l'asthme, les emphysèmes. (254)

V.4.3.2.4. Mesures de l'inflammation bronchique

Comme vu précédemment, l'asthme est causé par une obstruction bronchique et une inflammation chronique des voies aériennes. (256) Aujourd'hui, il est possible de détecter une inflammation bronchique grâce au monoxyde d'azote (NO) que nous retrouvons dans l'air expiré. Cette mesure est rendue possible grâce à des appareils qui utilisent le principe de la chimiluminescence (figure 41). L'avantage de ces appareils est de pouvoir doser les fractions de NO, sous forme gazeuse. Chez un sujet sain, la quantité de NO mesurée dans l'air expiré varie entre 5 et 25 ppb (partie par milliard). Souvent, ce NO provient des alvéoles

ou des petites voies aériennes. En revanche, en cas d'asthme, il y a une augmentation de la quantité de NO qui se forme dans les poumons. La mesure du NO permet d'évaluer directement le phénomène d'inflammation bronchique qui caractérise l'asthme (figure 42). De plus, la sensibilité de la mesure du NO semble plus fiable que celle du VEMS, car le changement significatif de la fraction de monoxyde d'azote dans l'air expiré (FeNO) se fait pendant deux semaines alors que le changement du VEMS ne se détecte qu'après 3 mois. (257) Cependant, la mesure de la FeNO est peu utilisée en France. (258)



Figure 41 : Appareil de mesure du Monoxyde d'Azote(259)



Figure 42 : Résultat du test au NO (259)

V.4.3.2.5. Tests de provocation bronchique spécifiques

Les tests de provocation bronchique spécifiques ont pour objectif de dupliquer les symptômes de l'asthme lors d'une exposition à une substance incriminée. Ces tests sont très importants pour confirmer le diagnostic chez un patient présentant un asthme allergique mais aussi de découvrir l'agent responsable de l'AP. Toutefois, ces tests sont réalisables que dans des centres spécialisés. De plus, ils ne sont pas indispensables lorsque l'histoire

clinique l'étiologie est évidente et que l'agent est connu de l'AP. En revanche, le test de provocation bronchique peut être la preuve unique du diagnostic d'asthmes professionnels causés par de nouvelles substances. (236)

Le test consiste à inhaler un irritant (histamine, mannitol ou métacholine) à des doses croissantes. Cet agent pharmacologique crée une bronchoconstriction, c'est à dire une contraction des muscles des bronches des poumons. Cela permet de déterminer, ou non, la présence d'une hyperactivité bronchique. Par la suite une mesure des volumes pulmonaires expirés sera réalisée. Cette répétition est faite jusqu'à ce que les volumes expirés soient inférieurs à 20% de la mesure initiale. Le patient ressent des essoufflements, sifflements et de la toux.(260) Après tous ces tests, le patient connaît son pronostic. En cas d'asthme non professionnel un traitement lui sera délivré. Mais si, son asthme s'avère d'origine professionnelle des recommandations seront envisagées.

V.4.3.3. Conduite a tenir en cas d'asthme professionnel

Une fois l'asthme professionnel déclaré, un traitement va être mis en place. Plusieurs traitements peuvent être délivrés en fonction de l'intensité de l'asthme.(261) Le patient peut recevoir des bêta-2 agonistes en traitement de fond, ça sera le plus souvent un bêta-2 stimulant à longue durée d'action, comme le formotérol ou le salmétérol. Il s'agit d'un inhalateur à poudre. Ce dispositif délivre des médicaments dans les poumons sous la forme d'une poudre sèche. Souvent le médicament est conservé dans une capsule pour un chargement manuel ou sinon la molécule est déjà mise à l'intérieur de l'inhalateur. Une fois activé ou chargé, le patient met l'embout buccal dans sa bouche et prend une forte inspiration, en retenant son souffle pendant 5 à 10 secondes. (262) De plus, le patient devra toujours avoir un bêta-2 agoniste à courte durée d'action sur lui, en cas de crises d'asthme, la Ventoline®. Le patient doit tenir le flacon à la verticale puis le secouer de bas en haut, expirer profondément pour bien vider ses poumons, poser l'inhalateur au niveau de la bouche, appuyer pour libérer la dose tout en inspirant lentement. Puis retenir son souffle pendant environ 10 secondes (figure 43). (263)

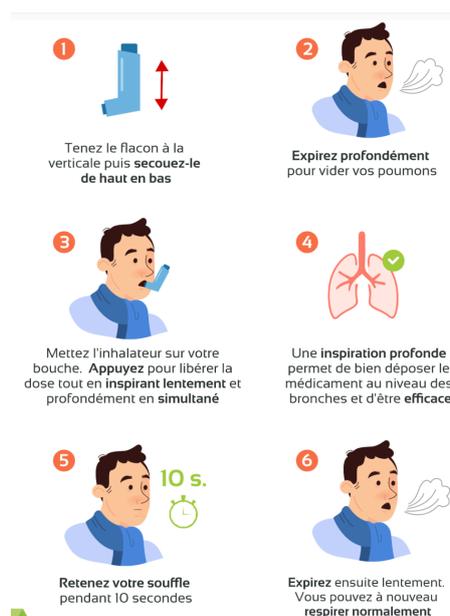


Figure 43 : Bien utiliser sa ventoline (263)

L'asthmatique peut aussi recevoir des agents anticholinergiques comme le bromure d'ipratropium. Il s'agit d'un traitement utilisé dans l'asthme chronique. En revanche son effet est moins puissant que celui des bronchodilatateurs bêta-2 mimétiques. Nous pouvons y retrouver l'Atrovent® ou le Bronchodual®. (264)

Le patient peut aussi être traité par des corticoïdes inhalés en traitement de fond ou par des corticoïdes per os au long cours. Pour les corticoïdes inhalés, il sera recommandé de bien se rincer la bouche pour éviter les candidoses buccales ou dysphonie. Il est toutefois recommandé d'éviter les prescriptions prolongées et les arrêts brutaux de fortes doses de corticostéroïdes inhalés. (261) Un arrêt brutal de cortisone per os peut entraîner une insuffisance des glandes surrénales et aggraver la maladie. (265)

La conduite principale est l'élimination des poussières, ici l'allergène est la poussière de farine. Les personnes atteintes doivent être écartées des activités. Mais cela a un impact économique sur la vie personnelle. (266)

V.4.3.4. L'impact

Chez un boulanger, certaines mesures peuvent être mise en place pour essayer de supprimer ou de réduire l'exposition à la farine. L'asthmatique peut, au début, essayer d'utiliser des masques pour diminuer l'inhalation de poussière de farines. Si cela ne suffit pas, il est difficile d'aménager un poste de travail. Il sera donc envisagé de faire une reconversion professionnelle. En revanche, chez les jeunes asthmatiques allergiques il faut faire attention à l'orientation professionnelle car certaines professions sont plus « à risque » comme les coiffeurs, les peintres ou les menuisiers. (230)

La survenue d'une maladie professionnelle peut avoir des conséquences socioprofessionnelles majeures. Une étude de cohorte a été réalisée en 1997 portant sur 209 patients atteints de maladies professionnelles suivis pendant trois ans, 44% avaient perdu leur d'emploi initial et 25% étaient sans emploi. Il est donc nécessaire qu'une prise en charge socioprofessionnelle soit mise en place. Il y a deux outils importants dans la démarche de reclassement professionnel : la constitution d'un dossier auprès de la Commission technique d'orientation et de reclassement professionnel (Cotorep) et la mise en place d'un bilan de compétences. Le bilan de compétence va permettre de réaliser un projet professionnel cohérent et réaliste.(267)

Lorsque la maladie est déclarée comme maladie professionnelle (MP), les consultations et les soins sont pris en charge à 100%. Cela signifie que le patient ne déboursa aucun frais. Lors d'arrêt de travail, les indemnités journalières versées sont plus avantageuses (de J1 à J28, il touchera 60% du salaire et à partir de J29, 80% de son salaire). De plus, une reconnaissance de travailleur handicapé peut être demandée auprès de la Commission techniques d'orientation et de reclassement professionnel (Cotorep). Cela est surtout profitable avant 45 ans, lorsque la personne souhaite obtenir un stage de reclassement professionnel. Souvent en boulangerie, aucun aménagement ou reclassement de poste n'est possible. Le salarié est donc licencié avec des indemnités doublées à la différence d'un licenciement classique. (267)

V.4.4. Les dermatoses et dermatites chez les boulangers

Les boulangers ont un métier physique, ils travaillent dans des conditions bien particulières et sont, en permanence, exposés à des risques d'accidents du travail et à des maladies professionnelles. Chez les boulangers, les dermatoses sont des affections courantes du fait de la manipulation récurrente de la farine. (268) L'incidence annuelle est de 33,2 cas pour 10 000 employés. Cette incidence est plus élevée chez les femmes que chez les hommes et les plus jeunes entre 15 et 24 ans sont les plus touchés. Près de 30% des apprentis boulangers ont déclaré un eczéma des mains au bout de 6 mois d'apprentissage. (269)

V.4.4.1. Qu'est ce qu'une dermatose ?

Les dermatoses sont des pathologies qui concernent la peau mais une dermatose peut aussi toucher des muqueuses et par extension les cheveux ou les ongles. Il existe différentes dermatoses : la dermatose bulleuse, la dermatite séborrhéique, la dermatose neutrophilique et la dermatose impétigineuse.(270) Chaque dermatose a ses propres symptômes. Les symptômes les plus courants sont un prurit, une démangeaison avec des lésions visibles sur la peau et des douleurs. En France, les dermatoses sont des maladies professionnelles reconnues. Elles sont causées chez les boulangers par des allergènes tels que la farine, mais elles touchent aussi d'autres métiers comme les coiffeurs, les professionnels des industries chimiques et du bâtiment.(268)

V.4.4.2. Qu'est ce qu'une dermatite ?

Une dermatite est une dermatose marquée par une inflammation de la peau. Elle peut s'associer à un épaissement de la peau, une desquamation, un érythème, un prurit, des croûtes et des suintements dus aux grattements (Cf. figure 44). Comme les dermatoses, il existe plusieurs dermatites : les dermatites atopiques ou eczéma, les dermatites de contact, les dermatites séborrhéique et bien d'autres... Les plus fréquentes chez le boulanger sont la dermatite de contact ou l'eczéma (dermatite atopique). Il existe deux catégories de dermatite de contact : la dermatite de contact d'irritation et la dermatite de contact allergique. Les causes de dermatite de contact d'irritation chez nos boulangers sont les farines et les graines, et pour une dermatite de contact allergique, l'allergène mis en cause est la farine. Toutefois l'eczéma reste la dermatite la plus commune. De plus, les artisans boulangers sont aussi en contact permanent avec des fruits, des graines, des plantes qui contiennent une enzyme, l'alpha-amylase. Cette enzyme est semblablement mise en cause dans de multiples affections cutanées. (268)

La clé du traitement est tout d'abord, d'identifier la substance qui provoque cette irritation ou cette allergie. Pour réduire les démangeaisons, des compresses d'eau froide peuvent être utilisées, mais le plus souvent cela ne suffit pas. Pour traiter l'éruption, une crème à base de

cortisone sera prescrite. Si l'atteinte est vraiment très importante, le médecin peut prescrire de la cortisone *per os* sur une courte durée. (271)



Figure 44 : Eczéma de la main (272)

Conclusion

Depuis l'antiquité, le pain a reflété la société. Au Moyen-Âge, il est noir et souillé d'impuretés pour les paysans. Son manque provoque : famine et soulèvement du peuple. Pendant la révolution Française, il devient le symbole de l'égalité. Aujourd'hui après avoir été abandonné, il retrouve ses lettres de noblesse et se décline en une multitude de variétés (pain blanc, pain complet, pain au noix, pain au seigle...).

Nutritivement, il a été démontré, qu'une consommation régulière alliée à une alimentation équilibrée, est bonne pour la santé ; car cela permet un apport en fibres nécessaire au bon fonctionnement du tube digestif. Chez les enfants le pain doit être privilégié car il est énergétique et amène ni sucres rapides ni graisses contrairement aux biscottes, au pain de mie ou aux gâteaux industriels. Il est préférable de consommer du pain complet qui est riche en fibres et qui diminue la quantité de calories absorbées. Chez les patients constipés ou obèses il est préconisé d'en consommer régulièrement. Il peut même parfois se substituer à un traitement médical. En revanche, une consommation excessive n'est pas recommandée surtout chez les diabétiques car l'index glycémique est élevé, tout comme chez les personnes âgées souffrant parfois de déminéralisation.

Le pharmacien peut délivrer des conseils hygiéno-diététiques pour les patients souffrants de certaines pathologies comme la constipation, l'hypercholestérolémie, le diabète, obésité, tout en précisant qu'une alimentation équilibrée est indispensable. Ainsi, le pain, principalement complet, consommé tout au long d'une vie, peut permettre de prévenir certaines maladies comme, le cancer colorectal et certaines maladies cardio-vasculaires. En revanche, le pain peut causer une maladie, la maladie coeliaque, difficile à soigner et assez contraignante. Le patient devra faire de nombreux sacrifices pour pallier aux symptômes de cette maladie.

Certains boulangers qui ont un contact tactile quasi quotidien avec de gros volumes de farine souffrent d'asthme du boulanger. Cette maladie professionnelle est principalement due aux inhalations trop importantes de farines en milieu clos et saturé. Aujourd'hui, l'asthme du boulanger représente la première cause d'asthme professionnel en France. L'asthme professionnel est reconnu comme maladie professionnel sous certaines conditions. Cette reconnaissance contribue à une prise en charge à 100% des consultations et des soins sans avance de frais.

Depuis 2008, la France s'est refusée à autoriser les cultures d'organismes génétiquement modifiés (OGM) à des fins commerciales. Cette position courageuse pourrait-elle perdurer face au réchauffement climatique, à une population mondiale galopante et comment devra t-on adapter nos modes de cultures intensives des céréales afin de satisfaire une population mondiale toujours plus importante.

Références bibliographiques

1. Bournigal. Le blé, c'est toute une histoire [Internet]. semencemag. 2021 [cité 20 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.semencemag.fr/ble-selection-genetique.html>
2. Rué de Bernadac G. French Touch : Le pain, une histoire française [Internet]. Le Petit Journal. 2019 [cité 26 mai 2022]. Disponible sur: <https://lepetitjournal.com/shanghai/communaute/french-touch-le-pain-une-histoire-francaise-253580>
3. Raffarin JP. Détermination des conditions juridiques de l'exercice de la profession d'artisan boulanger [Internet]. 1998 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.senat.fr/rap/l97-417/l97-4171.html>
4. Tarade G. Le pain : histoire et symbolisme :: Les Archives du Savoir Perdu [Internet]. 2015 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://les-archives-du-savoir-perdu.webnode.fr/news/le-pain-histoire-et-symbolisme/>
5. Akilimali A. Marché local et concurrence des unités de production, cas du marché de pain dans la ville de Bukavu [Internet] [Mémoire de Graduat en développement rural]. [Bukavu]: Institut supérieur de développement rural; 2013 [cité 20 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.africmemoire.com/part.3-chapitre-i-generalites-sur-le-pain-1047.html>
6. Saidou C. La situation des OGM en France [Internet]. Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. 2022 [cité 26 mai 2022]. Disponible sur: <https://agriculture.gouv.fr/la-situation-des-ogm-en-france>
7. CFA Le moulin rabaud. Livret de technologie Brevet Professionnel Boulangerie. 2018.
8. Biologie et Multimédia. Le blé : la plante [Internet]. [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/blepain/1ble/11plant/plante.htm>
9. Marc. La saga des blés Vilmorin [Internet]. BoulangerieNet. 2007 [cité 26 mai 2022]. Disponible sur: <https://boulangerienet.fr:443/bn/viewtopic.php?t=20097>
10. Biologie et Multimédia. Le blé : origine [Internet]. [cité 20 janv 2022]. Disponible sur: <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/blepain/1ble/12orig/origine.htm>
11. Espace pain information. Botanique du blé [Internet]. 2022 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://espace-pain.info/index.php/botanique-du-ble/>
12. Pinterest. Les plantes sans fleur : le blé [Internet]. 2020 [cité 6 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.pinterest.fr/pin/789396640934997603/>
13. Noren A. Le blé transformation mouture [Internet]. Technomitron. 2020 [cité 20 janv 2022]. Disponible sur: <http://technomitron.aainb.com/constituants-pain-et-pate/le-ble-transformation-mouture/>
14. Froissard D. Cours de botanique spé officine P2. Université de Limoges; 2018.
15. Lycée Ferdinand Buisson d'Elbeuf. Les étapes pour obtenir la farine [Internet]. [cité 6 mars 2023]. Disponible sur: https://buisson-lyc.spip.ac-rouen.fr/IMG/pdf/les_etapes_pour_obtenir_la_farine.pdf
16. Richaringan D. Grain de blé. In: Wikipédia [Internet]. 2022 [cité 26 mai 2022].

Disponible sur:

https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Grain_de_bl%C3%A9&oldid=193132045

17. Bonjean A. Caryopse [Internet]. Le Robert. 2020 [cité 26 mai 2022]. Disponible sur: <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/caryopse>

18. Berta L. Son de blé : analyse nutritionnelle complète [Internet]. Conseil en nutrition. 2017 [cité 26 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.laurentberta.com/aliment/aides-culinaires-ingredients-divers/ingredients-divers/son-de-ble>

19. Epixelic. Son de blé [Internet]. Le Retour à la Terre. [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.leretouralaterre.fr/son-de-ble>

20. Taboola. Glucides - Qu'est ce que c'est ? [Internet]. Figaro Santé. [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/nutrition-nutriments/glucides/quest-ce-que-cest>

21. Duval A. Contribution à l'étude du gluten comme matériau : apport de lignines de différentes natures. [Internet] [Thèse de doctorat]. Université de Grenoble; 2013 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03219736>

22. CNRTL. Xylose [Internet]. 2012 [cité 26 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.cnrtl.fr/definition/xylose>

23. Colonna P. Polysaccharides alimentaires - L'amylose [Internet]. 2009 [cité 26 mai 2022]. Disponible sur: https://biochim-agro.univ-lille.fr/polysaccharides/co/Contenu_1_b_1.html

24. Colonna P. Polysaccharides alimentaires - L'amylopectine [Internet]. 2009 [cité 26 mai 2022]. Disponible sur: https://biochim-agro.univ-lille.fr/polysaccharides/co/Contenu_1_b_2.html

25. Synthèse des constituants pariétaux [Internet]. [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/paroi/synthese.htm>

26. Bernard A. Cellulose [Internet]. Techno-science. 2004 [cité 29 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Cellulose.html>

27. Moreau. Fibres de cellulose [Internet]. INRS. 2011 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur:

https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_282

28. Les hémicelluloses [Internet]. [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/paroi/hemicell.htm>

29. Cellulose : définition et explications [Internet]. [cité 29 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.aquaportail.com/definition-1555-cellulose.html>

30. Gaston. Lignine. In: Wikipédia [Internet]. 2021 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Lignine&oldid=186468944>

31. Dewalque A, Compagnons boulangers. Les analyses des protéines du blé. [Internet]. CREBESC. 2017 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://levainbio.com/cb/crebesc/les-proteines-du-ble/>

32. Feillet P. Le grain de blé: Composition et utilisation. Editions Quae; 2000. 316 p.

33. CmonDiet. Le Gluten [Internet]. 2016 [cité 29 mai 2022]. Disponible sur: <https://cmondiet.fr/le-gluten-cest-quoi/>

34. Michon - 2015 - Physico-chimie de la farine, de la pâte et du pain.pdf [Internet]. [cité 29 mai 2022]. Disponible sur: https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/AST/document/SPT_Transformations/SPT_Physico_chimie_Farine_pate_pain_2015.pdf?cidReq=AST
35. Autran J. Identification des variétés de blé [Internet]. 2012 [cité 30 mai 2022]. Disponible sur: http://jcautran.free.fr/archives_familiales/profession/publications/1975/P75-04.pdf
36. Feillet. Figure 9. Classification des protéines de la farine du grain de blé :... [Internet]. ResearchGate. 2000 [cité 29 mai 2022]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/figure/Classification-des-proteines-de-la-farine-du-grain-de-ble-rapprochement-entre-les_fig9_317814710
37. Laignelet B, Cantin C. Implication des lipides dans la variabilité génétique des caractéristiques technologiques de la farine et du gluten de blé tendre. *Agronomie*. 1987;7(5):345-51.
38. Dubois S. Formule chimique développée d'un acide gras saturé, un acide gras... | Download Scientific Diagram [Internet]. 2012 [cité 30 mai 2022]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/figure/Formule-chimique-developpee-dun-acide-gras-sature-un-acide-gras-mono-insature-et-un_fig1_250308662
39. Minier P. Le blé tendre [Internet]. Passion Céréales. 2018 [cité 30 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.passioncereales.fr/dossier-thematique/le-bl%C3%A9-tendre>
40. Vivescia J. Le temps du blé [Internet]. VIVESCIA. 2019 [cité 31 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.vivescia.com/grand-format/le-grain-des-semis-au-temps-des-moissons/le-grain-au-fil-des-saisons/le-temps-du-ble>
41. Julien. Stockage des céréales à la ferme : quelques pré-requis [Internet]. 2020 [cité 30 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.terre-net.fr/observatoire-technique-culturelle/strategie-technique-culturelle/article/conservation-des-cereales-les-pre-requis-du-stockage-a-la-ferme-217-169224.html>
42. CFA Le moulin rabaud. BP Technologie Boulanger.
43. Semae. Adapter le blé au changement climatique [Internet]. 2021 [cité 30 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.semencemag.fr/ble-climat-cereales.html>
44. De La Chesnai E. Le réchauffement climatique affecte le blé [Internet]. Le Figaro. 2012 [cité 30 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.lefigaro.fr/sciences/2012/01/30/01008-20120130ARTFIG00713-le-rechauffement-climatique-affecte-le-ble.php>
45. Pulsar B. Moulin. In: Wikipédia [Internet]. 2022 [cité 30 mai 2022]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Moulin&oldid=192374739>
46. Noren A. Le blé transformation mouture [Internet]. Technomiton. 2020 [cité 30 mai 2022]. Disponible sur: <http://technomiton.aainb.com/constituants-pain-et-pate/le-ble-transformation-mouture/>
47. Chopin L. Préparation des blés à la mouture [Internet]. Technologies. 2020 [cité 30 mai 2022]. Disponible sur: <https://chopin.fr/fr/article-de-blog/Preparing-wheat-for-milling.html>
48. Leblanc B. Cours Technologie 1ère année [Internet]. 2020 [cité 30 mai 2022].

Disponible sur: http://techno.boulangerie.free.fr/04-Cours/02-MATIERES_PREMIERES/02-Ble/01-Ble_Cours.htm

49. Pautard A. Meule à grains. In: Wikipédia [Internet]. 2022 [cité 31 mars 2022]. Disponible sur:

https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Meule_%C3%A0_grains&oldid=192141292

50. PeriTec - Broyeur à cylindres by SATAKE | DirectIndustry [Internet]. Satake. 2019 [cité 31 mars 2022]. Disponible sur:

<https://www.directindustry.fr/prod/satake/product-211643-2195217.html>

51. Rafiki L. Plansichter — Wikipédia [Internet]. 2007 [cité 30 mai 2022].

Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Plansichter>

52. Rafiki L. Plansichter. In: Wikipédia [Internet]. 2019 [cité 31 mars 2022].

Disponible sur:

<https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Plansichter&oldid=158052526>

53. Les cendres - Chopin Technologies [Internet]. [cité 30 mai 2022]. Disponible sur: <https://chopin.fr/fr/article-de-blog/cendres.html>

54. Farine - Technologie Boulangerie Pâtisserie.pdf [Internet]. [cité 30 mai 2022].

Disponible sur: [https://www.metiers-alimentation.ac-](https://www.metiers-alimentation.ac-versailles.fr/IMG/pdf/Cours_professeur_-_Farines_-_Definitions.pdf)

[versailles.fr/IMG/pdf/Cours_professeur_-_Farines_-_Definitions.pdf](https://www.metiers-alimentation.ac-versailles.fr/IMG/pdf/Cours_professeur_-_Farines_-_Definitions.pdf)

55. Beaubaton C. La farine dans tous ses états [Internet]. Bio Linéaires. 2020 [cité 31 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.biolineaires.com/la-farine-dans-tous-ses-etats/>

56. Qu'est-ce que le taux de cendre ? A quoi correspondent les tamis sur moulin Astrié ? [Internet]. Astréïa. 2022 [cité 30 mai 2022]. Disponible sur: <https://moulins-astreia.fr/quest-ce-que-le-taux-de-cendre-a-quoi-correspondent-les-tamis-sur-moulin-astrie>

57. Moulin Rabaud. Livret de Technologie Brevet Professionnel Boulangerie 1^{ière} année.

58. Enon. Principaux repères sur les mycotoxines [Internet]. 2018 [cité 31 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins>

59. Chicheportiche U. Rappel national de pains vendus par la grande distribution pour cause de toxine [Internet]. BFM BUSINESS. 2022 [cité 3 avr 2022]. Disponible sur: [https://www.bfmtv.com/economie/consommation/rappel-national-de-pains-](https://www.bfmtv.com/economie/consommation/rappel-national-de-pains-vendus-par-la-grande-distribution-pour-cause-de-toxine_AN-202204010422.html)

[vendus-par-la-grande-distribution-pour-cause-de-toxine_AN-202204010422.html](https://www.bfmtv.com/economie/consommation/rappel-national-de-pains-vendus-par-la-grande-distribution-pour-cause-de-toxine_AN-202204010422.html)

60. Cofrac S. Nouvelles limites réglementaires pour les alcaloïdes de l'ergot [Internet]. Phytocontrol. 2021 [cité 3 avr 2022]. Disponible sur:

<https://www.phytocontrol.com/veille-reglementaire/nouvelles-limites-reglementaires-pour-les-alcaloïdes-de-lergot/>

61. Olodia. Le LSD [Internet]. Camh. 2020 [cité 3 avr 2022]. Disponible sur:

<https://www.camh.ca/fr/info-sante/index-sur-la-sante-mentale-et-la-dependance/le-ld>

62. Lacombe. Le blé, aussi populaire que toxique [Internet]. Greenpeace France. 2017 [cité 31 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.greenpeace.fr/ble-populaire-toxique/>

63. Bournerand J. Les métaux lourds – la synthèse de l'ASEF | Association Santé Environnement France [Internet]. association santé environnement. 2017 [cité 31 mai

- 2022]. Disponible sur: <https://www.asef-asso.fr/production/les-metaux-lourds-la-synthese-de-lasef/>
64. Leblanc B. Les Améliorants. In 2007. p. P38.
 65. Leblanc B.. La farine. In: référentiel du Brevet professionnel Boulangerie 2012 Extrait de cours tiré de l'ENSMIC. p. Page 24.
 66. Leblanc B. L'eau. In: référentiel Brevet <professionnel Boulangerie 2012. p. Page 70.
 67. Leblanc B. Le sel. In: référentiel brevet professionnel boulangerie 2012. p. Page 71.
 68. Leblanc B. La levure. In: référentiel brevet professionnel boulangerie 2012. 2012. p. Page 73.
 69. Les Céréales. Qu'est-ce que le levain ? Histoire et définition du levain [Internet]. 2020 [cité 31 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.lescereales.fr/gastronomie/quest-ce-que-le-levain-histoire-et-definition-du-levain>
 70. Brochure. Chapitre I. Generalites sur le pain [Internet]. Africmemoire. 2007 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.africmemoire.com/part.3-chapitre-i-generalites-sur-le-pain-1047.html>
 71. Le Pétrissage [Internet]. 2021 [cité 31 mai 2022]. Disponible sur: http://techno.boulangerie.free.fr/04-Cours/03-PROCEDES2FAB/03-Le_Petrissage/01-lePetrissage.htm
 72. Noren A. La levure de boulangerie [Internet]. Technomitron. 2021 [cité 31 mai 2022]. Disponible sur: <http://technomitron.aainb.com/constituants-pain-et-pate/la-levure-de-boulangerie/>
 73. Leblanc B. La cuisson. In: referentiel du BP boulanger. 2020. p. Page 63.
 74. Fylyp. Mélanoïdine. In: Wikipédia [Internet]. 2018 [cité 1 juin 2022]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%A9lano%C3%AFdine&oldid=150695609>
 75. Noren A. Pain Complet [Internet]. Technomitron. 2020 [cité 1 juin 2022]. Disponible sur: <http://technomitron.aainb.com/recettes-2/pains-speciaux/pain-complet/>
 76. De Vincelle L. Pain : valeurs nutritionnelles, propriétés [Internet]. Passeport. 2021 [cité 31 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=pain>
 77. Ryam Y. Pain (baguette) : Calories, Indice glycémique, Valeurs nutritionnelles ... [Internet]. 2019 [cité 1 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.lanutrition.fr/pain-baguette->
 78. Pain : valeurs nutritionnelles, propriétés [Internet]. [cité 31 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=pain>
 79. Julie. Quel est le meilleur pain pour la santé ? [Internet]. Yuka. 2019 [cité 6 juin

- 2022]. Disponible sur: <https://yuka.io/meilleur-pain-sante/>
80. Cantin. Le grain d'amidon : morphologie et constitution [Internet]. AGIR CRT. 2015 [cité 31 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.agir-crt.com/blog/grain-amidon-morphologie-constitution/>
81. Molekuul. Structure Chimique De Polymère De Polysaccharide D'amylose. [Internet]. Dreamstime. 2021 [cité 3 avr 2022]. Disponible sur: <https://fr.dreamstime.com/structure-chimique-polymère-polysaccharide-d-amylose-composant-amidon-outr-amylopectine-formule-squelettique-image187176080>
82. Horton. Amylose amylopectine amidon Cours glucide Enseignement recherche biochimie enzymologie bioinformatique Emmanuel Jaspard Université Angers biochimej [Internet]. 2010 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: <https://biochimej.univ-angers.fr/Page2/COURS/3CoursdeBiochSTRUCT/2GLUCIDES/2FIGURES/99DiversOSES/8SUITEdivers/1OsesSUITE.htm>
83. Grandjean N. Amylopectine. In: Wikipédia [Internet]. 2020 [cité 3 avr 2022]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Amylopectine&oldid=177663120>
84. Emalquier. Dextrine. In: Wikipédia [Internet]. 2020 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Dextrine&oldid=170370800>
85. Ballot D. La transformation de l'amidon au cours de la digestion - Ressources pour les enseignants - Ressources élémentaire [Internet]. asp. 2020 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.assistancescolaire.com/enseignant/elementaire/ressources/base-documentaire-en-sciences/la-transformation-de-l-amidon-au-cours-de-la-digestion-3sac0301>
86. Nutrixeal. Amylase pancréatique [Internet]. Nutrixeal Info. 2021 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: <https://nutrixeal-info.fr/index/amylase-pancreatique/>
87. Salame M. Variabilité et évolution du phénotype quantité d'amylase salivaire — Site des ressources d'ACCES pour enseigner les Sciences de la Vie et de la Terre [Internet]. 2021 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/evolution/accompagnement-pedagogique/accompagnement-au-lycee/terminale-2012/un-regard-sur-levolution-de-lhomme/evolution-dans-la-ligee-humaine/quelques-aspects-genetiques-de-levolution-des-populations-humaines-homo-sapiens-sapiens/culture-et-selection-naturelle-au-cours-de-lhistoire-des-populations-humaines/amylase/approche-amylase>
88. Deluzarche L. Définition | Maltose | Futura Santé [Internet]. 2019 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/nutrition-maltose-777/>
89. Emmanuel. Test respiratoire à l'hydrogène : ça marche (comment) ? [Internet]. Fodmapedia. 2019 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: <https://blog.fodmapedia.com/test-respiratoire-hydrogene/>
90. Pons A. Les résultats d'un test à l'hydrogène expiré [Internet]. 2015 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.passeportsante.net/fr/Maux/examens-medicaux->

operations/Fiche.aspx?doc=examen-test-hydrogene-expire-quels-resultats-peut-on-attendre-d-un-test-a-l-hydrogene-expire-&

91. Taboola. Glucides - L'index glycémique [Internet]. Figaro Santé. 2020 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: <https://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/nutrition-nutriments/glucides/lindex-glycemique>

92. A.Fardet IS, D.Dupont coordinateurs. Structure des aliments et effets nutritionnels. Quae. Quae; 461 p.

93. Bouvier V. Les fibres alimentaires, du volume utile [Internet]. VIDAL. 2019 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/sante/nutrition/corps-aliments/fibres-alimentaires.html>

94. Baribeau L. Fibres solubles et insolubles : quelles différences ? [Internet]. Passeport. 2015 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.passeportsante.net/fr/Actualites/Dossiers/DossierComplexe.aspx?doc=fibres-solubles-insolubles-queelles-differences>

95. Pradier F. Les fibres alimentaires, qu'est-ce que c'est ? [Internet]. Doctissimo. 2020 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: https://www.doctissimo.fr/html/nutrition/mag_2001/mag0119/nu_3394_solubles_ou_insolubles.htm

96. Beaubaton C. Les fibres solubles et insolubles [Internet]. Bio Linéaires. 2013 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: https://www.biolineaires.com/les_fibres_solubles_et_insolubles/

97. Girard F. Aliments fonctionnels et microflore digestive [Internet]. 2014 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.caducee.net/DossierSpecialises/inra/microflore.asp>

98. Diabète et fibres alimentaires - Unlock Food [Internet]. Découvrez les aliments. 2018 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.unlockfood.ca/fr/Articles/La-prevention-du-diabete/Les-fibres-leurs-bienfaits-sur-la-sante-des-personnes-atteintes-de-diabete.aspx>

99. Sgi. Fibres alimentaires [Internet]. Société gastro-intestinale | www.mauxdeventre.org. 2020 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: <https://badgut.org/centre-information/sante-et-nutrition/fibres-alimentaires/?lang=fr>

100. Duvivier E. Fibres alimentaires et pathologie digestive [Internet]. Medfilm. 1978 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: https://medfilm.unistra.fr/wiki/Fibres_alimentaires_et_pathologie_digestive

101. Boctor S canadienne de. Le rôle des fibres alimentaires et des prébiotiques dans le régime en pédiatrie | Société canadienne de pédiatrie [Internet]. Société Canadienne. 2020 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://cps.ca/fr/documents/position/le-role-des-fibres-alimentaires-et-des-prebiotiques-dans-le-regime-en-pediatrie/>

102. Ascher D. Définition de Acétogénèse [Internet]. Actu-Environnement. Actu-environnement; 2016 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/acetogenese.php4

103. Les fibres alimentaires.pdf [Internet]. [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://hal.inrae.fr/hal-02724903/document>

104. Analytice L. Laboratoires d'analyse des acides gras volatils [Internet]. Analytice. 2020 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.analytice.com/laboratoires-analyse-acides-gras-volatils/>
105. Bême D. Les fibres protègent-elles contre le cancer colorectal ? [Internet]. Doctissimo. 2019 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: https://www.doctissimo.fr/html/sante/mag_2001/mag0727/sa_4334_cancer_colon_fibres.htm
106. Bingham L. Un régime riche en fibres protège contre le cancer colorectal | e3n [Internet]. e3n. 2003 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.e3n.fr/un-regime-riche-en-fibres-protège-contre-le-cancer-colorectal>
107. Sievenpiper. Les fibres alimentaires [Internet]. Diabète Québec. 2018 [cité 3 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.diabete.qc.ca/fr/vivre-avec-le-diabete/alimentation/aliments-et-nutriments/les-fibres-alimentaires/>
108. Bonneau D. Maladies cardiovasculaires : recherche, facteurs de risque et prévention [Internet]. Institut Pasteur de Lille. 2004 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://pasteur-lille.fr/centre-de-recherche/thematiques-de-recherche/maladies-cardiovasculaires/>
109. Mohamed AB, Rémond D, Della-valle G, Chiron H, Cohade B, Béchet D, et al. Les fibres alimentaires limitent le stockage de lipides hépatiques en situation de surnutrition : quels mécanismes et quels médiateurs ? Nutr Clin Métabolisme. 1 nov 2018;32(4):280.
110. Les effets positifs des fibres sur le métabolisme [Internet]. savoir. 2012 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://medecine.savoir.fr/les-effets-positifs-des-fibres-sur-le-metabolisme/>
111. Machuette V. Cœur des Français : attention danger [Internet]. FFC. 2019 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://fedecardio.org/presse/coeur-des-francais-attention-danger/>
112. Gritiom. Hydroxyméthylglutaryl-CoA réductase. In: Wikipédia [Internet]. 2020 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Hydroxym%C3%A9thylglutaryl-CoA_r%C3%A9ductase&oldid=168807872
113. Futura. Définition | Phytates | Futura Santé [Internet]. Futura. 2020 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/medecine-phytates-3523/>
114. Pontillart O. Phytates, phytases : leur importance dans l'alimentation des monogastriques. INRA Prod Anim. 1994;7(1):29-39.
115. Aquaportail. Phytine : définition et explications [Internet]. AquaPortail. 2018 [cité 31 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.aquaportail.com/definition-8905-phytine.html>
116. Hertz. Acide phytique. In: Wikipédia [Internet]. 2022 [cité 26 mai 2022]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Acide_phytique&oldid=193090419
117. Argence J. Fer héminique ou non-héminique : quelles différences entre le fer d'origine animale et le fer végétal ? [Internet]. Femme Actuelle. 2020 [cité 16 janv

- 2022]. Disponible sur: <https://www.femmeactuelle.fr/sante/sante-pratique/fer-heminique-ou-non-heminique-quelles-differences-entre-le-fer-dorigine-animal-et-le-fer-vegetal-2101726>
118. Rabolite S. Vitamines [Internet]. Pain et Santé. 2020 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.painetsante.be/sur-pain/nutriments/vitamines/>
119. Rabilloud B. Rôle et bienfaits de la vitamine B | Gamme Berocca [Internet]. Berocca France Test env. [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.beroccagamme.fr/vitaminesetmineraux/vitamineb>
120. Centro L. Qu'est ce que la vitamine B1 ? Rôle et bienfaits de la vitamine B1 [Internet]. Alvityl. 2018 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://alvityl.fr/vitamines/vitamine-b1/>
121. Centro L. Qu'est ce que la vitamine B2 ? Rôle et bienfaits de la vitamine B2 [Internet]. Alvityl. 2018 [cité 27 févr 2022]. Disponible sur: <https://alvityl.fr/vitamines/vitamine-b2/>
122. Vidal. Vitamine B2 - Complément alimentaire [Internet]. VIDAL. 2014 [cité 27 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/parapharmacie/complements-alimentaires/vitamine-b2-riboflavine.html>
123. Taboola. Vitamine PP - Qu'est-ce que c'est ? - Fiches santé et conseils médicaux [Internet]. 2019 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/nutrition-nutriments/vitamine-pp/quest-ce-que-cest>
124. Centro L. Qu'est ce que la vitamine B3 ou PP ? Rôle et bienfaits de la vitamine PP [Internet]. Alvityl. 2018 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://alvityl.fr/vitamines/vitamine-b3/>
125. Taboola. Vitamine PP - Carence et surdosage [Internet]. Figaro Santé. 2020 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/nutrition-nutriments/vitamine-pp/carence-surdosage>
126. Curtet R. Pain blanc, pain complet: fabrication et intérêt diététique. 1998;137.
127. Vidal. Vitamine B6 - Complément alimentaire - VIDAL [Internet]. 2023 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/parapharmacie/complements-alimentaires/vitamine-b6-pyridoxine.html>
128. Daine F. Vitamine B6 ou pyridoxine [Internet]. Doctissimo. 2020 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: https://www.doctissimo.fr/html/nutrition/vitamines_mineraux/vitamine_b6.htm
129. Anses. Vitamine B9 ou acide folique | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. Anses. 2022 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/vitamine-b9-ou-acide-folique>
130. Taboola. Vitamine B9 - Besoins et sources d'apport [Internet]. Figaro Santé. 2017 [cité 6 mars 2022]. Disponible sur: <https://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/nutrition-nutriments/vitamine-b9/besoins-sources-dapport>
131. Le blanc. Informations Nutritionnelles - Pain baguette courante [Internet]. 2013 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: <http://informationsnutritionnelles.fr/pain-baguette-courante>
132. Duboile X. Calories pain complet : 269 calories pour... [Internet]. Le journal des

- femmes. 2020 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: <https://sante.journaldesfemmes.fr/calories/pain-complet/aliment-7110>
133. Rousseau N. Tout savoir sur la vitamine E | Fondation Louis Bonduelle [Internet]. 2020 [cité 20 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.fondation-louisbonduelle.org/nutriment/ce-qu-il-faut-savoir-sur-la-vitamine-e/>
134. Vidal. Vitamine E - Complément alimentaire [Internet]. Vidal. 2016 [cité 20 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/parapharmacie/complements-alimentaires/vitamine-e-tocopherols-tocotrienols.html>
135. Sophioel. Tous les apports nutritionnels du pain blanc maison [Internet]. Santé Magazine. 2022 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.santemagazine.fr/alimentation/nutriments/guide-des-calories/produits-cerealiers/pain-blanc-maison-918049>
136. Vidal. TOCO 500 mg caps molle [Internet]. VIDAL. 2022 [cité 20 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/medicaments/toco-500-mg-caps-molle-16532.html>
137. Bouvier V. Les sels minéraux et les oligoéléments [Internet]. VIDAL. 2019 [cité 4 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/sante/nutrition/corps-aliments/sels-mineraux-oligoelements.html>
138. Qu'est ce que le Fer ? Bienfaits et aliments riches en Fer [Internet]. Alvityl. 2022 [cité 4 juin 2022]. Disponible sur: <https://alvityl.fr/oligo-elements/fer/>
139. crfer-exploration.pdf [Internet]. [cité 4 juin 2022]. Disponible sur: <https://centre-reference-fer-rennes.org/wp-content/uploads/2018/04/crfer-exploration.pdf>
140. Lewis J. Présentation du rôle du sodium dans l'organisme : Troubles hormonaux et métaboliques [Internet]. Manuels MSD pour le grand public. 2021 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.msdmanuals.com/fr/accueil/troubles-hormonaux-et-m%C3%A9taboliques/%C3%A9quilibre-%C3%A9lectrolytique/pr%C3%A9sentation-du-r%C3%B4le-du-sodium-dans-l-organisme>
141. Daine F. Sodium [Internet]. Doctissimo. 2017 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: https://www.doctissimo.fr/html/nutrition/vitamines_mineraux/sodium.htm
142. Normand G. Potassium [Internet]. Potassium. 2018 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.doctissimo.fr/sante/dictionnaire-medical/potassium>
143. Lewis J. Présentation du rôle du potassium dans l'organisme : Troubles hormonaux et métaboliques [Internet]. Manuels MSD pour le grand public. 2021 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.msdmanuals.com/fr/accueil/troubles-hormonaux-et-m%C3%A9taboliques/%C3%A9quilibre-%C3%A9lectrolytique/pr%C3%A9sentation-du-r%C3%B4le-du-potassium-dans-l-organisme>
144. Lewis J. Présentation du rôle du magnésium dans l'organisme - Troubles hormonaux et métaboliques [Internet]. Manuels MSD pour le grand public. 2021 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.msdmanuals.com/fr/accueil/troubles-hormonaux-et-m%C3%A9taboliques/%C3%A9quilibre-%C3%A9lectrolytique/pr%C3%A9sentation-du-r%C3%B4le-du-magn%C3%A9sium-dans-l-organisme>

145. Cardenas J. Magnésium [Internet]. Magnésium. 2014 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: https://www.doctissimo.fr/html/nutrition/abc/nu_534_abc_m.htm
146. Daine F. Calcium [Internet]. Doctissimo. 2018 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: https://www.doctissimo.fr/html/nutrition/vitamines_mineraux/calcium.htm
147. Lewis J. Présentation du rôle du calcium dans l'organisme - Troubles hormonaux et métaboliques [Internet]. Manuels MSD pour le grand public. 2021 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.msdmanuals.com/fr/accueil/troubles-hormonaux-et-m%C3%A9taboliques/%C3%A9quilibre-%C3%A9lectrolytique/pr%C3%A9sentation-du-r%C3%B4le-du-calcium-dans-l-organisme?query=calcium>
148. Lewis J. Présentation du rôle du phosphate dans l'organisme : Troubles hormonaux et métaboliques [Internet]. Manuels MSD pour le grand public. 2021 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.msdmanuals.com/fr/accueil/troubles-hormonaux-et-m%C3%A9taboliques/%C3%A9quilibre-%C3%A9lectrolytique/pr%C3%A9sentation-du-r%C3%B4le-du-phosphate-dans-l-organisme>
149. Derrien N. Tous les apports nutritionnels de la baguette [Internet]. Santé Magazine. 2022 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.santemagazine.fr/alimentation/nutriments/guide-des-calories/produits-cerealiers/baguette-918067>
150. Sagon P. Le pain complet - On mange quoi ? - La Mutuelle Générale [Internet]. 2013 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: <https://onmangequoi.lamutuellegenerale.fr/encyclopedie/les-aliments/produits-cerealiers/le-pain-complet>
151. Maton F. Les Sources alimentaires du Calcium : variez vos menus ! [Internet]. IRBMS. 2018 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.irbms.com/sources-alimentaires-calcium/>
152. Le Blanc. Minéraux [Internet]. 2020 [cité 6 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.painetsante.be/sur-pain/nutriments/mineraux/>
153. Le cancer colorectal - Les cancers les plus fréquents [Internet]. [cité 7 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.e-cancer.fr/Professionnels-de-sante/Les-chiffres-du-cancer-en-France/Epidemiologie-des-cancers/Les-cancers-les-plus-frequents/Cancer-colorectal>
154. Réseau NACRe - Réseau Nutrition Activité physique Cancer Recherche - Fibres alimentaires et cancer [Internet]. [cité 7 juin 2022]. Disponible sur: <https://www6.inrae.fr/nacre/Prevention-primaire/Facteurs-nutritionnels/Fibres-alimentaires-et-cancer>
155. Un régime riche en fibres protège contre le cancer colorectal | e3n [Internet]. [cité 7 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.e3n.fr/un-regime-riche-en-fibres-protège-contre-le-cancer-colorectal>
156. Mars bleu : les fibres, des alliées pour la prévention du cancer colorectal [Internet]. Aprifel. 2021 [cité 7 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.aprifel.com/fr/actualites/2021/03/11/mars-bleu-fibres-prevention-cancer-colorectal/>

157. Comment le pain complet fait-il reculer le risque du cancer du côlon et diabète de type 2 ? [Internet]. Infos diabète. 2019 [cité 6 juill 2022]. Disponible sur: <https://infos-diabete.com/pain-complet-diabete/>
158. H.Bour JV, H.Dupin JPW, H.Lestradet M. La place du pain dans l'alimentation. 1980. 91 p.
159. Maladies cardiovasculaires - Ministère de la Santé et de la Prévention [Internet]. [cité 5 juill 2022]. Disponible sur: <https://solidarites-sante.gouv.fr/soins-et-maladies/maladies/maladies-cardiovasculaires/article/maladies-cardiovasculaires>
160. Miser sur les grains entiers - Unlock Food [Internet]. [cité 5 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.unlockfood.ca/fr/Articles/Guides-alimentaires/Miser-sur-les-grains-entiers.aspx#2>
161. Les aliments à grains entiers : c'est quoi? [Internet]. Fondation Olo. 2020 [cité 5 juill 2022]. Disponible sur: <https://fondationolo.ca/blogue/alimentation/les-aliments-a-grains-entiers/>
162. Maladies cardiaques : attention si vous aimez le pain blanc [Internet]. Medisite. [cité 5 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.medisite.fr/maladies-cardiovasculaires-maladies-cardiaques-attention-si-vous-aimez-le-pain-blanc.5604493.124.html>
163. Mangez du pain complet : il protège votre santé ! [Internet]. E-Santé. [cité 6 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.e-sante.fr/mangez-pain-complet-il-protège-votre-sante/blog/866>
164. Amélie J. Calculs de la vésicule biliaire : définition et causes [Internet]. L'assurance maladie. 2021 [cité 6 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.ameli.fr/morbihan/assure/sante/themes/lithiase-vesiculaire/definition-facteurs-favorisants>
165. Calcul Biliaire et Alimentation - Par une Nutritionniste [Internet]. Doctonat. 2021 [cité 6 juill 2022]. Disponible sur: <https://doctonat.com/calcul-biliaire-alimentation/>
166. Volo I. Colique hépatique (calcul ou lithiase biliaire) : Symptômes et traitement [Internet]. Santé sur le Net, l'information médicale au cœur de votre santé. [cité 6 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.sante-sur-le-net.com/maladies/hepato-gastro/colique-hepatique-calcul-biliaire/>
167. Diabète de type 2 - symptômes, causes, traitements et prévention [Internet]. VIDAL. [cité 6 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/maladies/metabolisme-diabete/diabete-type-2.html>
168. Au coeur des organes : La glycémie [Internet]. 2016 [cité 6 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=UoGPhPQPKy8>
169. Qu'est-ce que le diabète de type 2? [Internet]. 2015 [cité 6 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=USzEOIxLfJQ>
170. Physiopathologie du diabète de type 2 - Rôles respectifs de l'insulinorésistance et du déficit en insuline [Internet]. Diabétologie Pratique. 2011 [cité 6 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.diabetologie-pratique.com/journal/article/mise-au-point-physiopathologie-du-diabete-de-type-2-roles-respectifs-de>
171. Principes diététiques [Internet]. [cité 6 juill 2022]. Disponible sur:

[https://www.fmc-](https://www.fmc-tourcoing.org/PROGRAMME_FMC/DIABETE_10_00/DIABETEFMI/Diet-Principe.html)

[tourcoing.org/PROGRAMME_FMC/DIABETE_10_00/DIABETEFMI/Diet-Principe.html](https://www.fmc-tourcoing.org/PROGRAMME_FMC/DIABETE_10_00/DIABETEFMI/Diet-Principe.html)

172. Régime diabétique : quel pain manger avec un diabète de type 2 ? [Internet]. Medisite. [cité 7 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.medisite.fr/diabete-regime-diabetique-quel-pain-manger-avec-un-diabete-de-type-2.4998882.60.html>

173. Bertar A. Le pain est-il déconseillé pour les diabétiques ? [Internet]. AlloDocteurs. 2017 [cité 7 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.allodocteurs.fr/alimentation-aliments-feculents-le-pain-est-il-deconseille-pour-les-diabetiques-21957.html>

174. pain_eufic.pdf [Internet]. [cité 8 juill 2022]. Disponible sur: http://alimentation-sante.org/wp-content/uploads/2014/11/pain_eufic.pdf

175. Ronteix L. Alimentation : quel est le régime idéal selon les recommandations de l'Anses ? [Internet]. Europe 1. 2017 [cité 8 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.europe1.fr/sante/alimentation-quel-est-le-regime-ideal-selon-les-recommandations-de-lanses-2960510>

176. Curtet - 1998 - Pain blanc, pain complet fabrication et intérêt d.pdf [Internet]. [cité 7 juin 2022]. Disponible sur: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01633850/document>

177. Pourquoi remplacer le pain blanc par du pain complet ? [Internet]. 750g. [cité 9 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.750g.com/pourquoi-remplacer-le-pain-blanc-par-du-pain-complet-a27183.htm>

178. Fraisse AC. Baguette, pain complet, pain blanc, régime et calories... La vérité sur le pain - L'Express Styles [Internet]. 2016 [cité 9 juill 2022]. Disponible sur: https://www.lexpress.fr/styles/saveurs/baguette-pain-complet-pain-blanc-regime-calories-la-verite-sur-le-pain_1789171.html

179. Envoyé spécial Les mordus du pain [Internet]. 2021 [cité 7 juin 2022]. Disponible sur: <https://www.france.tv/france-2/envoye-special/2199927-les-mordus-du-pain.html>

180. Joubert. Maladie cœliaque | SNFGE.org - Société savante médicale française d'hépatogastroentérologie et d'oncologie digestive [Internet]. 2018 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.snfge.org/content/maladie-coeliaque>

181. Roujon M. Immunogénétique de la maladie cœliaque [Internet]. EM-Consulte. 2011 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/802890/figures/immunogenetique-de-la-maladie-c?liaque>

182. Pdeitiker. HLA-DQ. In: Wikipedia [Internet]. 2021 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=HLA-DQ&oldid=1052211519>

183. Gus B. Quel est le rôle des gènes dans l'intolérance au gluten ? [Internet]. Because Gus. 2021 [cité 16 janv 2022]. Disponible sur: <https://because-gus.com/quel-est-le-role-des-genes-dans-lintolerance-au-gluten/>

184. Bana Jabri J. La maladie cœliaque : une maladie auto-immune induite par un antigène alimentaire. médecine/sciences. 1 nov 2001;17(11):1129-38.

185. Bigot Y. Lamina propria : définition et synonyme de Lamina propria en français

- | TV5MONDE - Langue Française [Internet]. TV5. 2021 [cité 23 janv 2022]. Disponible sur: <https://langue-francaise.tv5monde.com/decouvrir/dictionnaire/L/Lamina%20propria>
186. Biron. Immunoglobulines A [Internet]. 2022 [cité 16 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.biron.com/fr/glossaire/iga/>
187. maladie cœliaque (définition/physiopathologie/diagnostic/traitement) [Internet]. 2020 [cité 23 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=p0huOCOuuaw>
188. Ruiz. Maladie cœliaque - Troubles digestifs [Internet]. Manuels MSD pour le grand public. 2021 [cité 20 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.msmanuals.com/fr/accueil/troubles-digestifs/malabsorption/maladie-c%C5%93liaque>
189. N AC. Intolérance au gluten (maladie coeliaque) [Internet]. Elsevier Connect. 2020 [cité 20 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.elsevier.com/fr-fr/connect/nutrition/intolerance-au-gluten-maladie-coeliaque>
190. AboutKidsHealth [Internet]. 2017 [cité 20 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.aboutkidshealth.ca:443/article?contentid=816&language=English>
191. dermatite_herpetiforme_dh.pdf [Internet]. [cité 3 avr 2022]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2016-06/pnds_-_dermatite_herpetiforme_dh.pdf
192. Schar K. La dermatite herpétiforme et maladie coeliaque, quel est le lien ? [Internet]. Les plaisirs sans gluten. 2018 [cité 24 janv 2022]. Disponible sur: <http://blog.schaer.com/lesplaisirssansgluten/decouvrir/dermatite-herpetiforme.html>
193. Fatôme T. Comment se déroule une endoscopie digestive haute ? [Internet]. 2022 [cité 20 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.ameli.fr/haute-saone/assure/sante/examen/exploration/deroulement-endoscopie-digestive-haute>
194. Norris K. Maladie cœliaque, prévention et âge d'introduction du gluten chez les nourrissons [Internet]. Quoi dans mon assiette. 2020 [cité 24 janv 2022]. Disponible sur: <https://quoidansmonassiette.fr/maladie-coeliaque-prevention-et-age-dintroduction-du-gluten-chez-les-nourrissons/>
195. document.pdf [Internet]. [cité 24 janv 2022]. Disponible sur: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02412959/document>
196. Hennessy B. Stomatite aphteuse récidivante - Troubles dentaires [Internet]. Édition professionnelle du Manuel MSD. 2022 [cité 4 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.msmanuals.com/fr/professional/troubles-dentaires/sympt%C3%B4mes-des-pathologies-dentaires-et-buccales/stomatite-aphteuse-r%C3%A9cidivante>
197. Rossant V. Maladie cœliaque de l'adulte (ou intolérance au gluten) [Internet]. Doctissimo. 2020 [cité 4 févr 2022]. Disponible sur: https://www.doctissimo.fr/html/sante/encyclopedie/sa_1243_ma_coliaque_adu.htm
198. document.pdf [Internet]. [cité 4 févr 2022]. Disponible sur: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02412959/document>
199. Maton. Eaux minérales et teneurs : quelle eau choisir pour sa santé, le sport ? [Internet]. IRBMS. 2019 [cité 4 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.irbms.com/eaux-teneurs/>

200. Notice patient - SPASFON, comprimé enrobé - Base de données publique des médicaments [Internet]. [cité 4 févr 2022]. Disponible sur: <https://base-donnees-publique.medicaments.gouv.fr/affichageDoc.php?typedoc=N&specid=68081368>
201. Bouvier Vincent. CITRATE DE BETAINE UPSA [Internet]. VIDAL. 2023 [cité 4 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/medicaments/gammes/citrate-de-betaine-upsa-40129.html>
202. Notice patient - KETOPROFENE SUN LP 100 mg, comprimé sécable à libération prolongée - Base de données publique des médicaments [Internet]. [cité 4 févr 2022]. Disponible sur: <https://base-donnees-publique.medicaments.gouv.fr/affichageDoc.php?typedoc=N&specid=64552068>
203. Notice patient - DOLIPRANE 500 mg, comprimé - Base de données publique des médicaments [Internet]. 2021 [cité 4 févr 2022]. Disponible sur: <https://base-donnees-publique.medicaments.gouv.fr/affichageDoc.php?specid=63368332&typedoc=N>
204. Millot M. Plantes agissant sur le système nerveux. Université de Limoges; 2021.
205. Rabilloud B. Complément alimentaire Berocca Energie Orange | Berocca Energie [Internet]. Berocca France Test env. 2022 [cité 5 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.beroccagamme.fr/produits/beroccaenergie-orange>
206. Qu'est-ce qu'une allergie ou une intolérance alimentaire ? [Internet]. SPF Santé publique. 2016 [cité 13 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.health.belgium.be/fr/alimentation/securite-alimentaire/allergies-et-intolerances-alimentaires/quest-ce-quune-allergie-ou>
207. Halpern M. Allergie et Hypersensibilité [Internet]. Encyclopædia Universalis. 2023 [cité 13 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.universalis.fr/encyclopedie/allergie-et-hypersensibilite/>
208. Schar K. Définition de l'allergie au blé - Dr. Schär [Internet]. 2019 [cité 13 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.drschaer.com/fr/institute/a/definition-allergie-au-ble>
209. Schar K. Prévalence de l'allergie au blé - Dr. Schär [Internet]. 2019 [cité 13 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.drschaer.com/fr/institute/a/prevalence-allergie-au-ble>
210. Schar K. Symptômes de l'allergie au blé- Dr. Schär [Internet]. 2020 [cité 13 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.drschaer.com/fr/institute/a/symptomes-allergie-au-ble>
211. Zerbib O. L'oesophagite à éosinophiles [Internet]. FMC-HGE. 2016 [cité 13 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.fmcgastro.org/textes-postus/postu-2016-paris/loesophagite-a-eosinophiles/>
212. Fatôme T. Comment se déroule un bilan allergologique ? [Internet]. 2022 [cité 13 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.ameli.fr/aveyron/assure/sante/examen/analyse/deroulement-bilan-allergologique>
213. L'analyse des immunoglobulines E : examens et résultats [Internet]. <https://www.passeportsante.net/>. 2015 [cité 13 févr 2022]. Disponible sur:

- <https://www.passeportsante.net/fr/Maux/analyses-medicales/Fiche.aspx?doc=analyse-immunoglobulines-sang>
214. Schar K. Thérapie de l'allergie au blé - Dr. Schär [Internet]. 2020 [cité 14 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.drschaer.com/fr/institute/a/therapie-allergie-au-ble>
215. Schar K. Définition de la sensibilité au gluten - Dr. Schär Institute [Internet]. 2019 [cité 10 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.drschaer.com/fr/institute/a/definition-sensibilite-au-gluten-non-coeliaque>
216. Schar K. Pathogénèse de la sensibilité au gluten - Dr. Schär Institute [Internet]. 2019 [cité 12 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.drschaer.com/fr/institute/a/pathogenese-sensibilite-au-gluten-non-coeliaque>
217. Catassi C, Elli L, Bonaz B, Bouma G, Carroccio A, Castillejo G, et al. Diagnosis of Non-Celiac Gluten Sensitivity (NCGS): The Salerno Experts' Criteria. *Nutrients*. juin 2015;7(6):4966-77.
218. Schar K. Symptômes - Sensibilité au gluten - Dr. Schär Institute [Internet]. 2020 [cité 12 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.drschaer.com/fr/institute/a/symptomes-sensibilite-au-gluten-non-coeliaque>
219. Schar K. Diagnostic de la sensibilité au gluten - Dr. Schär Institute [Internet]. [cité 13 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.drschaer.com/fr/institute/a/diagnostic-sensibilite-au-gluten-non-coeliaque>
220. Snapshot [Internet]. [cité 13 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.drschaer.com/fr/institute/a/diagnostic-sensibilite-au-gluten-non-coeliaque>
221. Schar K. Thérapie de la sensibilité au gluten - Dr. Schär Institute [Internet]. 2019 [cité 13 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.drschaer.com/fr/institute/a/therapie-sensibilite-au-gluten-non-coeliaque>
222. Schar K. Régime sans gluten et régime FODMAP - Dr. Schär Institute [Internet]. 2018 [cité 13 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.drschaer.com/fr/institute/a/regime-sans-gluten-regime-fodmap>
223. Quelles sont les maladies professionnelles liées au métier de boulanger ? [Internet]. 2021 [cité 11 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.mapa-assurances.fr/boulangerie/maladies-professionnelles-metier-boulangier>
224. Bogner. L'asthme des boulangers : comment le prévenir et le traiter ? [Internet]. Mapa. 2017 [cité 11 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.mapa-assurances.fr/Actualites/Prevention-professionnels/asthme-boulangers>
225. Boulet JL. Guide de poche pour le traitement et la prévention de l'asthme [Internet]. Global Initiative for Asthma. 2016 [cité 7 avr 2022]. Disponible sur: <https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2016/09/WMS-French-Pocket-Guide-GINA-2016.pdf>
226. Dubois N. Emploi - Taux d'activité - OCDE Data [Internet]. theOECD. 2022 [cité 7 avr 2022]. Disponible sur: <http://data.oecd.org/fr/emp/taux-d-activite.htm>
227. Ceridwen L. OMS/OIT : Le nombre des décès liés au travail s'élève à près de deux millions chaque année [Internet]. 2021 [cité 7 avr 2022]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news/item/16-09-2021-who-ilo-almost-2-million-people-die>

from-work-related-causes-each-year

228. Leost. Maladies professionnelles : les ouvriers les plus touchés [Internet]. Capital.fr. 2010 [cité 23 avr 2022]. Disponible sur: <https://www.capital.fr/votre-carriere/maladies-professionnelles-les-ouvriers-les-plus-touchees-528976>
229. Pimbert K. Mesure des expositions aux agents chimiques et biologiques. Ce qu'il faut retenir - Risques - INRS [Internet]. 2020 [cité 23 avr 2022]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/risques/mesure-expositions-agents-chimiques-biologiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>
230. Fatôme T. Asthme et travail [Internet]. 2022 [cité 7 avr 2022]. Disponible sur: <https://www.ameli.fr/haute-vienne/assure/sante/themes/asthme/asthme-vivre-maladie/asthme-travail>
231. Loreit. Définition : asthmogène [Internet]. 2019 [cité 7 avr 2022]. Disponible sur: <https://www.cordial.fr/dictionnaire/definition/asthmog%C3%A8ne.php>
232. fichesAP.pdf [Internet]. [cité 23 avr 2022]. Disponible sur: <https://splf.fr/wp-content/uploads/2014/07/fichesAP.pdf>
233. Martel L. Information de base sur l'asthme professionnel - [Internet]. 2016 [cité 7 avr 2022]. Disponible sur: <https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/asthme/Pages/asthme-professionnel.aspx#Chap3>
234. L'asthme professionnel Latence.pdf [Internet]. [cité 23 mai 2022]. Disponible sur: https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/asthme/info_medicale/latence/Documents/Latence.pdf
235. Lemiere et Cartier - Asthme professionnel avec et sans période de laten.pdf [Internet]. [cité 23 mai 2022]. Disponible sur: <https://allergolyon.fr/wp-content/uploads/2020/09/4.10-Asthmes-professionnels.pdf>
236. Remen.E - Etude de l'incidence précoce de l'asthme pro.pdf [Internet]. [cité 23 avr 2022]. Disponible sur: <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01746256/document>
237. Reinaud F. L'hyperréactivité bronchique (HRB) : le resserrement des bronches [Internet]. Concilio. 2020 [cité 5 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.concilio.com/pneumologie-maladies-non-infectieuses-hyperreactivite-bronchique-hrb>
238. Ooreka. Bronchospasme : symptômes, causes et traitements - Ooreka [Internet]. 2020 [cité 5 mai 2022]. Disponible sur: <https://toux.ooreka.fr/astuce/voir/545547/bronchospasme>
239. Juliette. Définition [Internet]. Fondation du Souffle. 2017 [cité 5 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.lesouffle.org/poumons-sante/maladies-du-poumon/asthme/definition/>
240. Torcelly K. Broncho-pneumopathie chronique obstructive | Ramsay Santé [Internet]. 2004 [cité 5 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.ramsaysante.fr/vous-etes-patient-en-savoir-plus-sur-ma-pathologie/broncho-pneumopathie-chronique-obstructive>
241. Coëtmeur D, Parrat É, Nocent-Ejnaini C, Mangiapan G, Prud'homme A, Oster JPh, et al. Erratum à « Prix du meilleur article original 2020 ». Rev Mal Respir. avr 2021;38(4):441-2.

242. Leodras. Test immunologique. In: Wikipédia [Internet]. 2022 [cité 22 mai 2022]. Disponible sur:
https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Test_immunologique&oldid=189722281
243. Bouso. Département recherche Immunologie - Institut Pasteur [Internet]. institut pasteur. 2020 [cité 22 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.pasteur.fr/fr/nos-missions/recherche/immunologie>
244. Service de pneumologie - Tests allergiques cutanés [Internet]. Cliniques universitaires Saint-Luc. [cité 22 mai 2022]. Disponible sur:
<https://www.saintluc.be/fr/Service-de-pneumologie-Tests-allergiques-cutanes>
245. Tests cutanés en allergologie [Internet]. CHUV. 2020 [cité 22 mai 2022]. Disponible sur: <https://www.chuv.ch/fr/ial/ial-home/professionnels-de-la-sante/maladies-allergiques/prick-tests-et-intradermoreactions-idr>
246. Comment tester les allergies | Allergie Genève [Internet]. [cité 23 mai 2022]. Disponible sur: <http://www.allergie-geneve.com/test-cutane-patch/>
247. Luc. Service de pneumologie - Tests allergiques cutanés [Internet]. Cliniques universitaires Saint-Luc. 2016 [cité 23 mai 2022]. Disponible sur:
<https://www.saintluc.be/fr/Service-de-pneumologie-Tests-allergiques-cutanes>
248. Farah. Eczéma : tests cutanés et prévention | Fondation Eczéma [Internet]. 2020 [cité 23 mai 2022]. Disponible sur:
<https://www.fondationeczema.org/traiter/tests-cutanes-et-prevention>
249. Test sanguin pour déceler les allergies - Ooreka [Internet]. Ooreka.fr. [cité 10 juill 2022]. Disponible sur: [//allergies.ooreka.fr/comprendre/test-sanguin](https://allergies.ooreka.fr/comprendre/test-sanguin)
250. De Vincelle L. L'analyse des immunoglobulines E : examens et résultats [Internet]. <https://www.passeportsante.net/>. 2015 [cité 10 juill 2022]. Disponible sur:
<https://www.passeportsante.net/fr/Maux/analyses-medicales/Fiche.aspx?doc=analyse-immunoglobulines-sang>
251. Labtest - Tryptase [Internet]. [cité 10 juill 2022]. Disponible sur:
<http://www.labtestsonline.fr/tests/tryptase.html?tab=3>
252. Ooreka. EFR : principe et diagnostic d'une EFR - Ooreka [Internet]. Ooreka.fr. 2020 [cité 11 juill 2022]. Disponible sur:
[//asthme.ooreka.fr/astuce/voir/457413/exploration-fonctionnelle-respiratoire-efr](https://asthme.ooreka.fr/astuce/voir/457413/exploration-fonctionnelle-respiratoire-efr)
253. Biodore T. Spirométrie : principe, utilité et déroulement [Internet]. Femme Actuelle. 2022 [cité 11 juill 2022]. Disponible sur:
<https://www.femmeactuelle.fr/sante/actes-medicaux/spirometrie-principe-utilite-et-deroulement-2128639>
254. Adasy M. Exploration Fonctionnelle Respiratoire - EFR [Internet]. 2021 [cité 11 juill 2022]. Disponible sur: <https://cabinet-medical.eu/exploration-fonctionnelle-respiratoire-efr/>
255. Reinaud F. Gazométrie artérielle ou mesure des gaz du sang [Internet]. Concilio. 2009 [cité 11 juill 2022]. Disponible sur:
<https://www.concilio.com/pneumologie-examens-gaz-du-sang-gazometrie-arterielle>
256. Schleich et Louis - 2012 - Intérêt de la mesure de l'inflammation en clinique.pdf [Internet]. [cité 11 juill 2022]. Disponible sur: https://allergolyon.fr/wp-content/uploads/2020/09/4.6.1-Mesure-de-l_inflammation-bronchique.pdf

257. Duong T. Measurement of exhaled nitric oxide (NO) as a marker of airway inflammation. J Funct Vent Pulmonol [Internet]. 30 avr 2013 [cité 11 juill 2022];4(11). Disponible sur: <http://jfvpulm.com/?controller=Post&action=showPost&postid=297>
258. Dinh-Xuan A. La mesure de la FeNO en pratique pneumologique et allergologique en 10 questions [Internet]. OPA Pratique. 2021 [cité 11 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.opa-pratique.com/journal/article/006577-mesure-feno-en-pratique-pneumologique-allergologique-en-10-questions>
259. Lescure. Mesure du NO exhalé, EVERNOA [Internet]. www.mediflux.net. 2012 [cité 11 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.mediflux.fr/dispositifs-de-mesure/185-appareil-de-mesure-du-no-exhale-evernoa.html>
260. Biron. Qu'est ce que la provocation bronchique? | Biron [Internet]. Biron. 2019 [cité 11 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.biron.com/fr/sommeil/spirometrie/provocation-bronchique/>
261. 1998 - Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation e.pdf [Internet]. [cité 3 févr 2023]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/recommandations_asthme.pdf
262. Cosmopolite N. Inhalateur à poudre. In: Wikipédia [Internet]. 2021 [cité 3 févr 2023]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Inhalateur_%C3%A0_poudre&oldid=186256092
263. Progres P. Asthme : bien utiliser sa ventoline [Internet]. 2022 [cité 3 févr 2023]. Disponible sur: <https://pharmacieduprogres-gannat.mesoigner.fr/conseils/546-asthme-bien-utiliser-sa-ventoline>
264. HULO. Les traitements de la crise d'asthme [Internet]. VIDAL. 2022 [cité 3 févr 2023]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/maladies/voies-respiratoires/asthme/traitements-crise.html>
265. Guiraud. De la cortisone à la prednisone, les corticoïdes | AFM Téléthon [Internet]. 2022 [cité 8 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.afm-telethon.fr/fr/vivre-avec-la-maladie/mon-parcours-de-soins/les-medicaments/de-la-cortisone-la-prednisone-les>
266. Asthme professionnel - Troubles pulmonaires [Internet]. Édition professionnelle du Manuel MSD. 2020 [cité 8 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.msmanuals.com/fr/professional/troubles-pulmonaires/maladies-pulmonaires-li%C3%A9es-%C3%A0-environnement/asthme-professionnel-fichesAP.pdf>
267. fichesAP.pdf [Internet]. [cité 8 mars 2023]. Disponible sur: <https://splf.fr/wp-content/uploads/2014/07/fichesAP.pdf>
268. Rejoil L. Les dermatoses et dermatites chez le boulanger [Internet]. 2022 [cité 11 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.mapa-assurances.fr/boulangerie/dermatoses-dermatites-boulangier>
269. Cleenewerck O. Dermatites de contact chez les boulangers et les pâtisseries [Internet]. Dermatologie Pratique. 2017 [cité 12 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.dermatologie-pratique.com/journal/article/008002-dermatites-contact-chez-boulangers-patisseries>
270. Eloise O. Les dermatoses, maladies de la peau | tour d'horizon CEMENA

[Internet]. CEMENA. 2021 [cité 12 mars 2023]. Disponible sur:
<https://www.cemena.bio/dermatoses-les-maladies-de-la-peau/>
271. Dermite (dermatite) de contact [Internet]. [cité 12 mars 2023]. Disponible sur:
https://allerg.qc.ca/Information_allergique/4_2_dermatite.html
272. Dudorie P. Les causes de l'eczéma des mains [Internet]. Association
Française de l'eczéma. 2018 [cité 12 mars 2023]. Disponible sur:
<https://www.associationeczema.fr/causes-de-leczema-des-mains/>

Serment De Galien

Je jure en présence de mes Maîtres de la Faculté et de mes condisciples :

- d'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement ;
- d'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement ;
- de ne jamais oublier ma responsabilité, mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine, de respecter le secret professionnel.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères, si j'y manque.

Attention, ne supprimez pas le saut de section suivant (page suivante non numérotée)

Les effets du pain sur la santé

Le pain est un élément essentiel à notre alimentation et à notre mode de vie. Nutritivement, il a été démontré qu'une consommation régulière alliée à une alimentation équilibrée est bonne pour la santé. En effet, cela permet un apport en fibres nécessaires au bon fonctionnement du tube digestif. Chez les enfants le pain doit être privilégié car il est énergétique et amène ni sucres rapides ni graisses contrairement aux biscottes, au pain de mie ou aux gâteaux industriels. Il est préférable de consommer du pain complet qui est riche en fibres ce qui diminue la quantité de calories absorbées. Chez les patients constipés ou obèses, il est préconisé d'en consommer régulièrement. Il peut même parfois se substituer à un traitement médical. Le pharmacien peut délivrer des conseils hygiéno-diététiques pour les patients souffrants de certaines pathologies comme la constipation, l'hypercholestérolémie, le diabète, l'obésité, tout en précisant qu'une alimentation équilibrée est indispensable. Ainsi, le pain, principalement complet, consommé tout au long d'une vie, peut permettre de prévenir certaines maladies comme le cancer colorectal et certaines maladies cardiovasculaires. En revanche, le pain peut causer une maladie, la maladie coeliaque, difficile à soigner et assez contraignante. Le patient devra faire de nombreux sacrifices pour pallier aux symptômes de cette maladie. Certains boulangers qui ont un contact tactile quasi quotidien avec de gros volume de farine souffrent d'asthme du boulanger. Cette maladie professionnelle est principalement due aux inhalations trop importantes de farines en milieu clos et saturé. Aujourd'hui, l'asthme du boulanger représente la première cause d'asthme professionnel en France. L'asthme professionnel est reconnu comme maladie professionnelle sous certaines conditions. Cette reconnaissance contribue à une prise en charge à 100% des consultations et des soins sans avance de frais.

Mots-clés : pain, blé, farine, fibres, cancer colorectal, diabète, maladie coeliaque, maladie professionnelle, asthme professionnel, dermatose.

Health effects of bread

Bread is an essential part of our diet and our way of life. Nutritionally, it has been shown that regular consumption combined with a balanced diet is good for your health; because it allows a fiber intake necessary for the proper functioning of the digestive tract. In children, bread should be favored because it is energetic and does not contain quick sugars or fats, unlike rusks, sandwich bread or industrial cakes. It is preferable to consume wholemeal bread which is rich in fiber and which reduces the amount of calories absorbed. In constipated or obese patients it is recommended to consume it regularly. It can sometimes even replace medical treatment. The pharmacist can provide lifestyle and dietary advice for patients suffering from certain pathologies such as constipation, hypercholesterolemia, diabetes, obesity, while specifying that a balanced diet is essential. Thus, bread, mainly wholemeal, consumed throughout a lifetime, can help prevent certain diseases such as colorectal cancer and certain cardiovascular diseases. On the other hand, bread can cause a disease, celiac disease, which is difficult to treat and quite restrictive. The patient will have to make many sacrifices to overcome the symptoms of this disease. Some bakers who have almost daily tactile contact with large volumes of flour suffer from baker's asthma. This occupational disease is mainly due to excessive inhalation of flour in a closed and saturated environment. Today, baker's asthma is the leading cause of occupational asthma in France. Occupational asthma is recognized as an occupational disease under certain conditions. This recognition contributes to 100% coverage of consultations and care without upfront costs.

Keywords : bread, wheat, flour, fibers, colorectal cancer, diabetes, , celiac disease, occupational disease, occupational asthma, dermatosis

