



République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABOUBAKR BELKAÏD – TLEMCEM

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers



Département de Biologie

Laboratoire de Physiologie Physiopathologie et Biochimie de la Nutrition (PpaBioNut)

MEMOIRE

Présenté par : MOULAI Bochra Wafaa

En vue de l'obtention du : **Diplôme de Master en Sciences Alimentaires**

Option –Biologie de la nutrition

Thème

**Évaluation du rôle des fibres des écorces
d'orange sur les altérations métaboliques chez
des rats obèses.**

Soutenu le : 27/06/2023 devant le jury

Président	BERROUKECHE Farid	Maitre de conférences, Université de Béchar
Examinatrice	BENKALFAT-DIDI Amel	Maitre de conférences, Université de Tlemcen
Encadrante	MALTI Nassima Amel	Maitre de conférences, Université de Tlemcen

Année universitaire : 2022/2023

Résumé

Cette étude rentre dans le cadre de la valorisation des sous-produits industriels agro-alimentaires. L'objectif est d'évaluer l'impact d'un régime enrichi en écorces d'orange, riches en fibres alimentaires, sur les bilans glucido-lipidique et lipoprotéiques au cours de l'obésité.

Des analyses chimiques effectuées ont révélé des teneurs en fibres alimentaires totales, en cellulose et en pectine non négligeables. De plus l'étude in vivo a démontré chez les rats obèses supplémentés en écorces d'oranges, une diminution significative du poids, de la glycémie et des lipides sériques (cholestérol total et triglycérides).

De plus le bilan lipoprotéique révèle une nette amélioration chez les rats obèses sous écorces comparés aux témoins. Ce-ci confère à ce sous-produit un effet satiétogène, hypoglycémiant et hypolipémiant remarquable.

La consommation régulière d'écorce d'orange pourrait contribuer à la prévention/correction de l'obésité pour éviter les conséquences pathologiques qui lui sont attribuées.

Mots-clés : Valorisation des sous-produits agro-alimentaires, écorces d'orange, fibres alimentaires, obésité, métabolisme.

Abstract

This study falls within the scope of the valorization of agri-food industrial by-products. The aim is to assess the impact of a diet enriched with orange peel, which is rich in dietary fiber, on carbohydrate-lipid and lipoprotein balances during obesity.

Chemical analyses revealed significant levels of total dietary fiber, cellulose and pectin. In addition, the in vivo study showed that in obese rats supplemented with orange peel, there was a significant reduction in weight, glycaemia and serum lipids (total cholesterol and triglycerides). In addition, the lipoprotein balance revealed a clear improvement in the obese rats on orange peel compared with the controls. This gives this by-product a remarkable satiety-enhancing, hypoglycemic and lipid-lowering effect.

Regular consumption of orange peel could help prevent/correct obesity and avoid the pathological consequences attributed to it .

Keywords: Valorization of agri-food by-products, orange peel, dietary fibre, obesity, metabolism.

ملخص

تندرج هذه الدراسة ضمن إطار تثمين الفوائض الصناعية الزراعية الغذائية. الهدف هو تقييم تأثير نظام غذائي مُحسَّن بقشور البرتقال، والتي تحتوي على الألياف الغذائية بكميات كبيرة، على مستويات الكربوهيدرات والدهون والليبوبروتين في الدم خلال فترة السمنة.

أظهرت التحاليل الكيميائية المجراة وجود مستويات ملحوظة من الألياف الغذائية الكلية، والسليولوز، والبكتين. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت الدراسة على الحيوانات انخفاضاً ملحوظاً في الوزن والسكر في الدم والدهون الدموية (الكولسترول الكلي والتريغليسيريد) لدى الجرذان السمينة التي تم إعطاؤها مكملات قشور البرتقال. بالإضافة إلى ذلك، أشارت تحاليل الليبوبروتين إلى تحسن واضح في الجرذان السمينة التي تم إعطاؤها قشور البرتقال مقارنة بالمجموعة الشاهدة. هذا يضيفي تأثيراً بارزاً مشبعاً ومخفضاً للسكر في الدم ومخفضاً للدهون.

يمكن أن يساهم تناول قشر البرتقال بانتظام في الوقاية/تصحيح السمنة، وبالتالي تجنب العواقب المرضية المرتبطة بها.

الكلمات الرئيسية: تعزيز الفوائض الزراعية الغذائية، قشور البرتقال، الألياف الغذائية، السمنة، الأيض الخلوي.

Dédicace

Ce mémoire est dédié à :

Mes parents, *MOULAI Mohamed* et *CHARIF Fatna* qui sont les piliers solides de ma vie. Leur amour inconditionnel et leurs précieux conseils m'ont constamment guidé tout au long de mon parcours. Je suis infiniment reconnaissante envers eux pour leur soutien indéfectible. Ma mère est une source de force et de tranquillité, toujours présente pour moi, tandis que mon père est mon roc et ma plus grande source d'inspiration. Leur dévouement et leurs encouragements ont été des éléments essentiels de ma réussite. Je suis extrêmement chanceuse d'avoir des parents aussi merveilleux et je leur suis éternellement reconnaissante.

Mes sœurs et mes frères, qui ont été mes complices et mes meilleurs supporteurs. Leurs encouragements m'ont donné la motivation nécessaire pour surmonter les défis et atteindre mes objectifs.

À mes amis fidèles, *Nesrine* et *Hadil* qui ont été présents à mes côtés, m'apportant joie, soutien et moments de détente bien mérités.

Enfin, à tous les enseignants, les membres du corps professoral et le personnel administratif qui ont contribué à mon apprentissage et à ma croissance intellectuelle.

Bohra Wafaa

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers **ALLAH** pour m'avoir accordé la force, le courage et la guidance nécessaires pour poursuivre mes études et me diriger sur le bon chemin.

Je souhaite, par ailleurs, exprimer ma reconnaissance sincère à **Mme MALTI Nassima Amel**, qui m'a apporté une aide précieuse tout au long de mon travail. Ses conseils éclairés, sa disponibilité et son exemple en tant que personne de qualité ont été inestimables.

Je souhaite également adresser mes vifs remerciements à l'ensemble des membres du jury : **Mr BERROUKECHE Farid** et **Mme BENKALFAT Amel** d'avoir accepté d'évaluer et juger ce modeste travail. Leur présence lors de ma soutenance et leurs précieuses remarques ne peuvent que contribuer à améliorer la qualité scientifique de mon mémoire.

Je souhaite également exprimer ma profonde reconnaissance envers ma sœur **MOULAI Kawtar** pour son soutien inconditionnel et ses précieuses contributions tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Sa présence encourageante a été d'une valeur inestimable, et je lui suis extrêmement reconnaissante.

De plus, je tiens à remercier chaleureusement la doctorante **Mme TOUIL Amina**, pour son assistance précieuse et ses conseils éclairés.

Je présente également mes sincères remerciements aux ingénieurs du laboratoire **PPABIONUT** et à leur direction la **Pr MERZOUK Hafida**.

Enfin, mes remerciements s'étendent à toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont aidée à réussir ce projet.

Bohra Wafaa

Liste des abréviations

AGCC : Acides gras à chaîne courte

ANOVA: Analysis of Variance

CCR: Cancer colorectal

CRP : Protéine C-réactive

CT : Cholesterol total

DE : Degré d'estérification

EDTA: Acide éthylènediamine-tétraacétique

FAO: Food and agriculture organization

GLP-1: Glucagon-Like Peptide-1

GPR41 : Récepteur couplé à la protéine G 41

GPR43 : Récepteur couplé à la protéine G 43

HDL-C: High-Density Lipoprotein Cholesterol

LDL-C: Low-Density Lipoprotein Cholesterol

MCV : Maladies cardiovasculaires

MDA : Malondialdéhyde

O : Obèse

OE : Obèse-écorces

OMS : Organisation mondiale de la santé

PMF : flavones polyméthoxylées

PYY : Peptide YY

RMN: Résonance Magnétique Nucléaire

SCFA: Short-Chain Fatty Acids.

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

T: témoin.

TG: Triglycerides

Liste des Figures

Figure 1 : Caractéristiques physico-chimiques et impacts physiologiques des fibres alimentaires provenant des cellules végétales	6
Figure 2 : Métabolisme des fibres alimentaires dans le corps humain et prévention.....	9
Figure 3 : Représentation d'une molécule de cellulose	10
Figure 4 : Effets des fibres insolubles sur l'obésité et les paramètres biochimiques.....	16
Figure 5 : Représentation de la structure de la pectine	17
Figure 6 : Effets de la pectine sur l'obésité induite par un régime riche en matières grasses .	23
Figure 7 : Proportions comestibles, non comestibles et déchets des principales variétés d'agrumes cultivées dans le monde	25
Figure 8 : Anatomie d'une orange.....	26
Figure 9 : Facteurs socio-économiques, psychologiques et environnementaux de l'obésité..	29
Figure 10 : Effet des fibres alimentaires sur la physiologie humaine	34
Figure 11 : Carte représentant l'occupation des sols de la Ferme EPE Belaidouni Md	36
Figure 12 : écorce d'orange séché avant et après broyage	37
Figure 13 : La courbe pondérale des rats expérimentaux (g).....	45
Figure 14 : Glycémie chez les rats expérimentaux (mg/dL)	46
Figure 15 : Teneurs plasmatiques et lipoprotéiques en cholestérol (mg/dL)	47
Figure 16 : Teneurs plasmatiques et lipoprotéiques en triglycérides (mg/dL).....	47

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Classification des fibres alimentaires en fonction de la solubilité dans l'eau	7
Tableau 2 : Caractéristiques de la cellulose	12
Tableau 3 : Propriétés de la cellulose dans le contexte de différentes maladies.....	14
Tableau 4 : Caractéristiques de la pectine.....	18
Tableau 5 : Effets de pectine sur différents cancers.....	20
Tableau 6 : Propriétés de la pectine sur différentes maladies	21
Tableau 7 : Composition chimique globale des écorces d'orange.....	26
Tableau 8 : Effets des fibres alimentaires sur l'obésité	31
Tableau 9 : Systématique de l'orange douce (Citrus sinensis L.).....	37
Tableau 10 : Quantité des fibres dans 100g d'écorces d'orange.....	45

Table de matière

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Généralités sur les fibres alimentaires	4
1. Les fibres alimentaires :	5
2. Effets physiologiques des fibres alimentaire sur la santé humaine :.....	8
3. La cellulose :	10
3.1 Structure de la cellulose :	10
3.2 Caractéristiques physico-chimiques de la cellulose :.....	11
4. Les effets bénéfiques de la cellulose sur la santé :.....	13
5. La pectine :	17
5.1 Structure de la pectine :.....	17
5.2 Caractéristiques physico-chimiques de la pectine :	18
6. Les effets bénéfiques de la pectine sur la santé :.....	19
Chapitre 2 : Effets des fibres d'écorces d'orange	24
1. L'écorce de l'orange :	26
1.1 Composition chimique globale :	26
2. Fibres alimentaires des écorces d'orange :.....	27
3. Effets des fibres d'écorces d'Orange sur l'obésité :.....	28
3.1 L'obésité :	28
3.2 Types d'obésité :.....	30
4. Effets des fibres d'écorces d'orange sur les maladies métaboliques :	32
5. Effets des fibres d'écorces d'orange sur le métabolisme lipidique :.....	33
Chapitre 3 : Matériel et Méthodes	35
1. Partie végétale :	36
1.1 Origine géographique des oranges de l'étude :.....	36
1.2 Préparation des écorces d'orange :.....	37

2.	Dosage des fibres alimentaires (Méthode Weende) :	38
3.	Dosage de la cellulose :	39
4.	Dosage de la pectine :	39
5.	Expérimentation animale :	40
5.1	Répartition des lots expérimentaux :	40
5.2	Sacrifices et prélèvement sanguin :	40
6.	Analyse des paramètres biochimiques :	40
6.1	Détermination de la glycémie :	40
6.2	Détermination des paramètres lipidiques :	41
7.	Analyses statistiques :	43
Chapitre 4 : Résultats et Interprétations		44
1.	Teneurs des écorces d'oranges en fibres :	45
2.	Courbe pondérale :	45
3.	Paramètres biochimiques plasmatiques :	46
3.1	Teneurs plasmatiques en glucose :	46
3.2	Teneurs plasmatiques et lipoprotéiques en cholestérol :	46
3.3	Teneurs plasmatiques et lipoprotéiques en triglycérides :	46
Discussion		48
Conclusion		53
Références bibliographiques		56
Résumé		64

Introduction générale

Les fibres alimentaires sont des composants importants de l'alimentation humaine, elles possèdent des effets bénéfiques sur la santé gastro-intestinale et métabolique. Ces nutriments sont des glucides complexes qui ne sont pas digérés par les enzymes humaines dans l'intestin grêle, mais qui sont fermentés par les bactéries intestinales dans le côlon (**Berer et al., 2018**).

Les fibres alimentaires ont des effets prébiotiques, favorisant la croissance de bactéries intestinales bénéfiques, telles que les bifidobactéries et les lactobacilles. Elles ont également des effets bénéfiques sur transit intestinal, en augmentant le volume et la fréquence des selles, et en réduisant le temps de transit des aliments dans l'intestin. Les fibres alimentaires peuvent également réduire l'absorption de glucose, améliorer la sensibilité à l'insuline et réduire le risque de maladies métaboliques telles que l'obésité et le diabète. Enfin, les fibres alimentaires peuvent réduire l'inflammation chronique dans l'intestin et réduire le risque de maladies chroniques liées à l'inflammation, telles que les maladies cardiovasculaires, le diabète et certains cancers. Cette étude examine les effets des fibres alimentaires sur le microbiote intestinal et le métabolisme dans un modèle de rongeur. Les résultats pourraient avoir des implications importantes pour la promotion de la santé intestinale et la prévention des maladies chroniques (**Kadyan et al., 2023**).

Les fibres alimentaires sont présentes dans une variété de sources. Elles se trouvent notamment dans les fruits, les légumes, les céréales complètes et les légumineuses. Les écorces d'orange, souvent négligées, constituent également une importante source de fibres. En valorisant les déchets alimentaires, notamment les écorces d'orange riches en fibres, nous pouvons non seulement réduire le gaspillage, mais aussi exploiter pleinement les bienfaits des fibres pour notre santé (**Holscher et al., 2017**).

Les sous-produits de l'industrie agro-alimentaire, tout comme les fruits, les légumes et les graines, sont très riches en fibres alimentaires. De plus, la valorisation de ces sous-produits peut générer des avantages économiques, environnementaux et sociaux en créant de nouvelles sources de revenus, en réduisant la quantité de déchets produits et en offrant des produits à valeur ajoutée tels que des biocarburants, des enzymes, des pigments et des produits alimentaires et cosmétiques. Cependant, il existe des défis à la valorisation des sous-produits tels que la disponibilité limitée de matières premières, les coûts élevés de production et la nécessité de technologies efficaces pour les transformer en produits utiles (**Hartikainen et al., 2018**).

Ainsi, la collaboration entre les différents acteurs de l'industrie agroalimentaire, notamment les producteurs, les transformateurs et les consommateurs, est essentielle pour encourager la valorisation des sous-produits et pour contribuer à un développement durable de l'industrie par à la promotion de l'utilisation thérapeutique efficace et durable des sous-produits alimentaires riches en substances bioactives naturelles afin de substituer les molécules chimiques synthétiques (**Suthar et al., 2023**).

Les écorces d'agrumes font partie de ces sous-produits qui de par leur richesse en substances biologiques suscitent l'intérêt des scientifiques. En 2021, la production mondiale des agrumes a atteint 135,9 millions de tonnes. Les trois premiers pays producteurs d'agrumes sont la Chine, avec une production annuelle de 22 millions de tonnes, suivie du Brésil avec 21 millions de tonnes et des États-Unis avec environ 12 millions de tonnes. Les pays suivants dans le classement sont le Mexique et l'Inde (environ 7 millions de tonnes chacun). Dans la région méditerranéenne, l'Espagne est le principal producteur avec une production annuelle (6 millions de tonnes), suivie de l'Italie (4 millions de tonnes) et de l'Égypte (3 millions de tonnes^o). En Afrique, l'Égypte est le premier producteur, suivi de l'Afrique du Sud (2,2 millions de tonnes/an) et du Maroc (1,3 million de tonnes/an) (**FAO, 2021**).

En Algérie, de nombreux types d'agrumes sont cultivés, notamment les oranges (48 400 ha), les clémentines (10 817 ha), les mandarines (2 347 ha), les citrons (4 409 ha) et les pamplemousses (83 ha). Les principales wilayas agrumicoles sont : Blida (15809 ha), Chleff (5777 ha), Alger (5065ha), Ghilizane (4417 ha), Mascara (4232 ha), Mostaganem (4079 ha), Tipasa (3725 ha) (**Berraf-Tebbal et al., 2020**).

La production d'agrumes en Algérie a été de 1,5 million de tonnes en 2019, avec 97% destinés à la consommation fraîche et seulement 8000 tonnes destinées à la transformation. Le centre du pays représente 62% de la surface agrumicole totale, dont 6119 hectares rien que pour la capitale Alger (6^{ème} plus grand producteur national avec 1,1 million de quintaux). Dans l'est de l'Algérie, les agrumes occupent 9,7% de la superficie (6134 ha) et seulement 2,2% dans le Sud (1404 ha) (**APS, 2021**).

L'Ouest représente 26% de la superficie du pays (16453 ha) et la Wilaya de Tlemcen possède 3148 hectares de terres agrumicoles avec une production de 12025 quintaux, principalement de clémentines, mandarines, citrons, oranges Thomson navel et oranges sanguines (**Boumediene, 2022**).

L'objectif de notre travail est de contribuer à la valorisation des sous-produits de l'industrie agro-alimentaire, par l'évaluation des effets des fibres alimentaires, substances majoritaires des écorces d'oranges, sur le bilan énergétique et les altérations métaboliques caractéristiques de l'obésité en utilisant un modèle expérimental. Ce modeste travail a pour but de mesurer l'impact d'un régime supplémenté en écorces d'orange sur le poids, la glycémie, et les dyslipoprotéinémies au cours de l'obésité.

Chapitre 1 : Généralités sur les fibres alimentaires

1. Les fibres alimentaires :

Les fibres alimentaires sont des glucides complexes dérivés de matières végétales qui ne peuvent être hydrolysés par les enzymes digestives humaines présentes dans l'intestin grêle. Au lieu de cela, les fibres alimentaires parviennent intactes dans le côlon, où elles servent de substrat pour la fermentation par le microbiote intestinal résident. Cette fermentation produit divers métabolites, notamment des acides gras à chaîne courte (AGCC) tels que l'acétate, le propionate et le butyrate. Les AGCC sont rapidement absorbés par les cellules épithéliales du côlon et peuvent être utilisés comme source d'énergie par l'hôte. Cependant, la capacité de l'hôte à utiliser efficacement ces métabolites dépend de la composition et de la fonctionnalité du microbiote intestinal, qui peut varier considérablement d'un individu à l'autre. La diversité et la stabilité du microbiote intestinal sont essentielles pour une fermentation optimale des fibres alimentaires et la production d'AGCC. Un microbiote sain et équilibré est associé à une utilisation plus efficace des AGCC, à des effets bénéfiques sur la santé intestinale, à la modulation de l'inflammation, à la protection contre les maladies inflammatoires de l'intestin et au maintien de l'intégrité de la barrière intestinale (**Turner et al., 2021**).

Les études épidémiologiques ont constamment démontré les avantages des fibres alimentaires sur la santé gastro-intestinale grâce à la consommation d'aliments entiers non raffinés, tels que les céréales complètes, les légumineuses, les légumes et les fruits. Des études mécanistes et des essais cliniques sur des fibres isolées et extraites ont démontré des effets régulateurs prometteurs sur l'intestin (par exemple, la digestion et l'absorption, le temps de transit, la formation des selles) et des effets microbiens (changements dans la composition du microbiote intestinal et les métabolites de fermentation) qui ont des implications importantes pour les troubles gastro-intestinaux (**Gill et al., 2021**).

Il est désormais bien établi que les propriétés physicochimiques des différentes fibres alimentaires varient considérablement en fonction de leur origine et de leur traitement et qu'elles sont des déterminants importants de leurs caractéristiques fonctionnelles (**Fig. 1**).

Le **tableau 1** montre les classifications des fibres alimentaires en fonction de la solubilité dans l'eau.

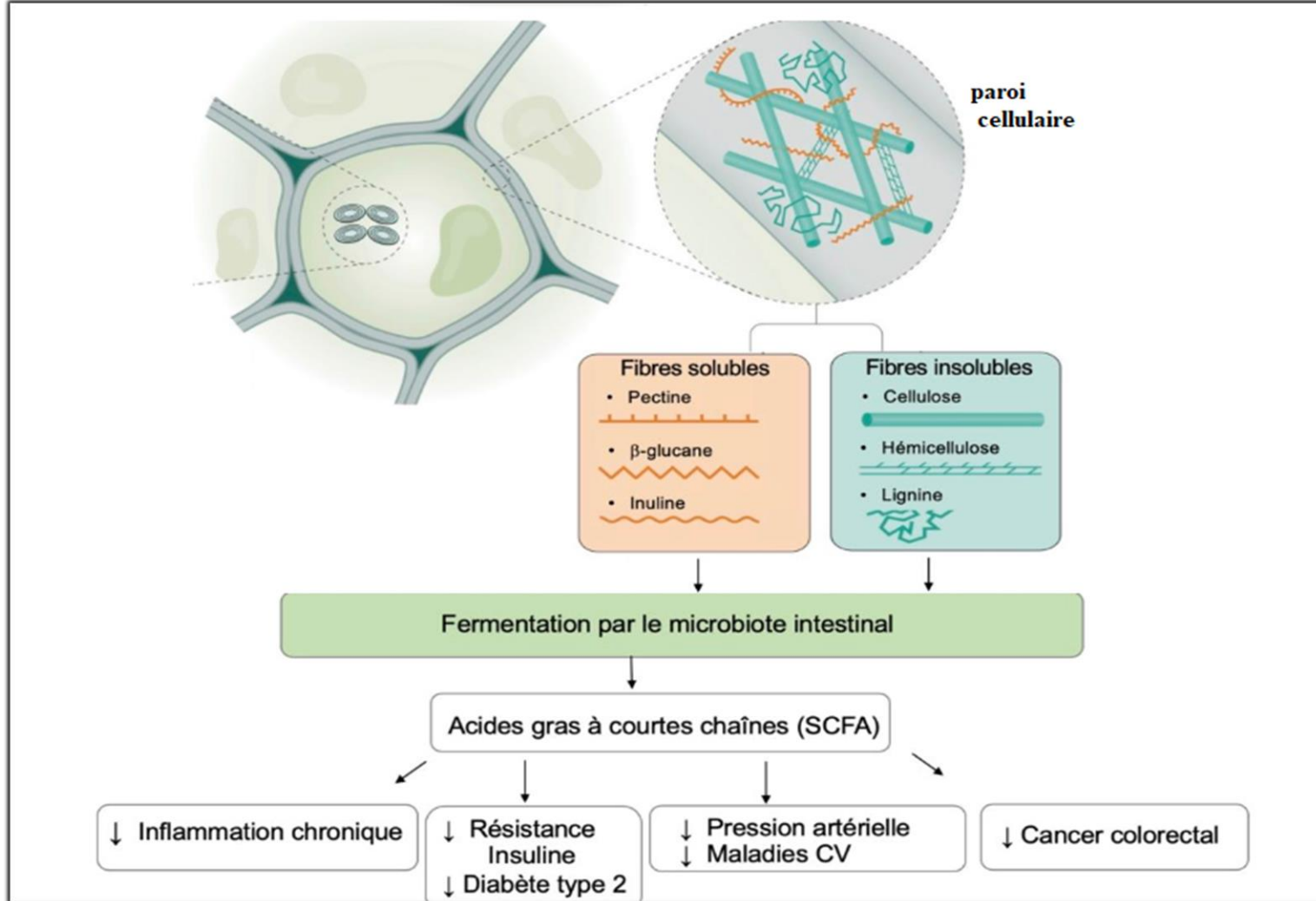


Figure 1 : Caractéristiques physico-chimiques et impacts physiologiques des fibres alimentaires provenant des cellules végétales (Gill *et al.*, 2021)

Tableau 1 : Classification des fibres alimentaires en fonction de la solubilité dans l'eau (Warrilow et al., 2019)

Classe	Composant fibreux	Description	Principales sources alimentaires
Insoluble dans l'eau	Cellulose	Composant structurel principal de la paroi cellulaire végétale. Insoluble dans l'alcali concentré, soluble dans l'acide concentré.	Légumes, fruits, betterave à sucre, sons, divers
	Hémicellulose	Polysaccharides de la paroi cellulaire, qui contiennent un squelette de liaisons β -1,4 glucosidiques. Soluble dans l'alcali dilué.	Graines de céréales, fruits
	Lignines	Composant de paroi cellulaire non glucidique. Polymère de phénylpropane réticulé complexe. Résiste à la dégradation bactérienne.	Les plantes ligneuses
Soluble dans l'eau	Inuline	Composants de la paroi cellulaire primaire avec l'acide D-galacturonique. Généralement hydrosoluble et gélifiant.	Fruits, légumes, céréales. Betterave à sucre, pomme de terre.
	Alginates	Polysaccharides composés principalement d'acides guluronique et mannuronique. Insolubles dans l'eau mais deviennent solubles en présence de cations tels que le calcium : Lorsque les alginates entrent en contact avec des ions calcium, ils forment un gel visqueux qui peut être utilisé pour épaissir les aliments.	Algues, fruits

2. Effets physiologiques des fibres alimentaire sur la santé humaine :

Au cours de l'obésité, les fibres alimentaires ralentissent au niveau de l'estomac l'évacuation des aliments, créant une sensation durable de satiété. Cela limite la consommation de calories et favorise la perte de poids (**He et al., 2022**).

Les fibres alimentaires protègent contre certains types de cancers en réduisant la concentration de substances cancérigènes dans le corps. Cela se fait en accélérant le passage du chyme, ce qui se traduit par la réduction de la période de contact des agents cancérigènes avec la muqueuse intestinale (**Berer et al., 2018**).

Selon de nombreuses études scientifiques, les personnes qui suivent un régime riche en fibres ont une faible incidence de troubles gastro-intestinaux, de diabète sucré, d'obésité et de maladies cardiovasculaires. Une alternative pour compenser la carence en fibres alimentaires consiste à les incorporer sous forme de complément. Les fabricants alimentaires utilisent une grande variété d'ingrédients riches en fibres alimentaires à des fins physiologiques, offrant ainsi des avantages potentiels pour la santé. La consommation d'un régime en fibres améliore le contrôle du diabète, réduit la concentration de lipides sériques et abaisse les valeurs de glycémie (**He et al., 2022**).

La **figure 2** présente le métabolisme des fibres alimentaires dans le corps humain. Cette représentation visuelle met en évidence le lien entre la consommation de fibres alimentaires et la prévention de diverses maladies, notamment les maladies cardiovasculaires, le diabète de type 2 et certains types de cancer.

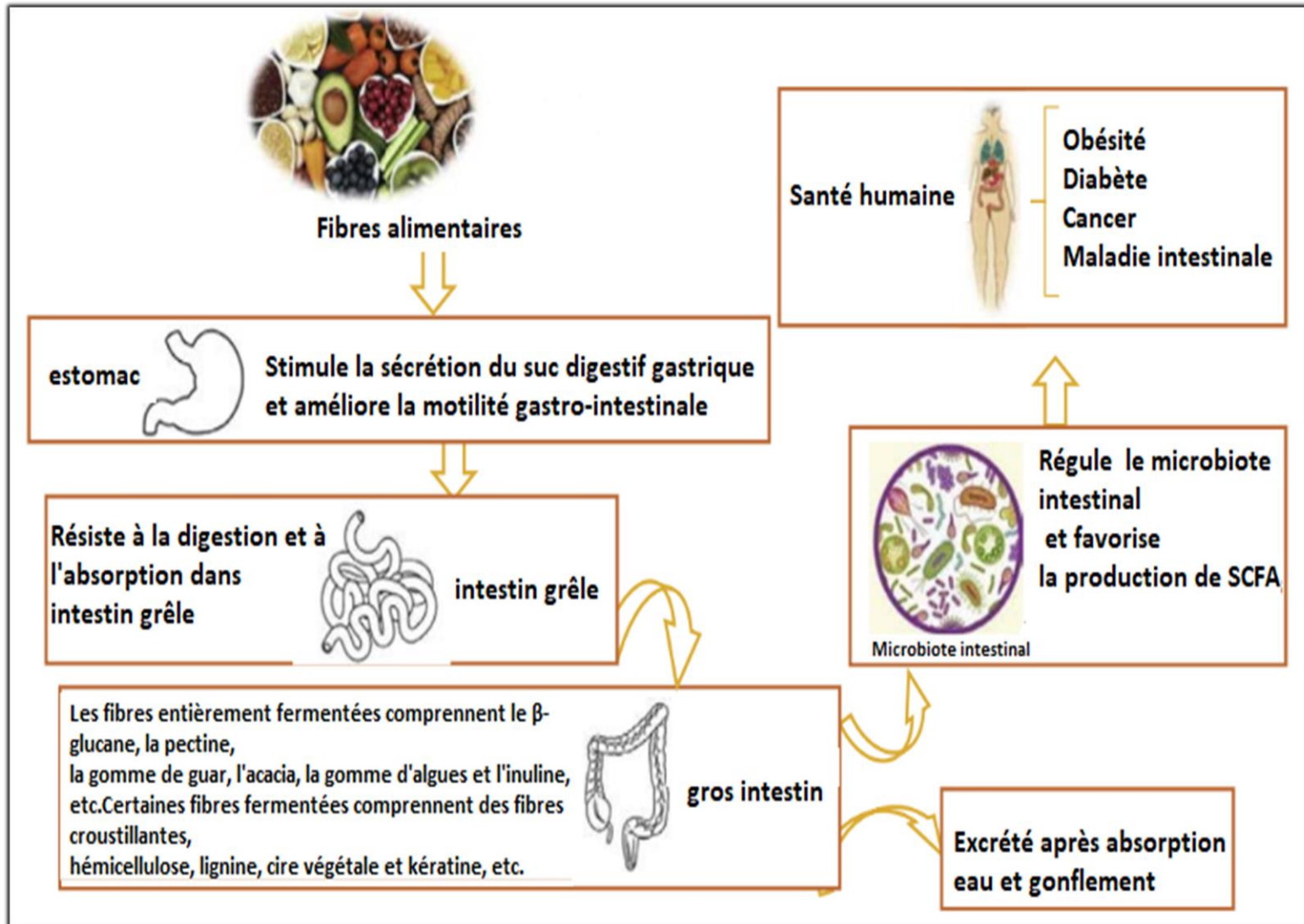


Figure 2 : Métabolisme des fibres alimentaires dans le corps humain et prévention des maladies (He et *al.*, 2022)

3. La cellulose :

La cellulose est présente dans de nombreuses sources naturelles telles que les plantes, les animaux, les algues, les champignon. Cependant, la principale source de cellulose est la fibre végétale (Heinze et al., 2016).

En plus des sources mentionnées précédemment, Les écorces d'orange contiennent une quantité significative de cellulose, qui peut être extraite et utilisée à diverses fins. Elle constitue environ 40% de la fraction carbonée des plantes et joue un rôle essentiel dans la structure des parois cellulaires (Suri et al., 2022).

3.1 Structure de la cellulose :

3.1.1 Structure moléculaire :

La cellulose a une structure moléculaire composée d'unités de cycles de D-glucopyranose liées par des liaisons β -1,4-glycosidiques. La cellulose est un polymère formé par "polycondensation", ce qui signifie que les extrémités de la chaîne de cellulose sont chimiquement différentes. Une extrémité contient un atome de carbone anomère lié par les liaisons glycosidiques, tandis que l'autre extrémité possède une unité de D-glucopyranose en équilibre avec une fonction aldéhyde (Fig. 3). Cette structure moléculaire de la cellulose est indépendante de sa source et constitue la base de sa fonctionnalité et de ses propriétés physiques. Les changements dans la structure moléculaire de la cellulose sont le résultat de réactions d'hydrolyse ou d'oxydation de la chaîne de cellulose, principalement à la surface des fibrilles ou dans les régions amorphes. La cellulose présente une distribution polydispersée des masses molaires. Plusieurs techniques, telles que les mesures de viscosité, la chromatographie par exclusion de taille et la diffusion de la lumière, peuvent être utilisées pour obtenir des informations sur les masses molaires et leur distribution dans la cellulose (Heinze et al., 2016).

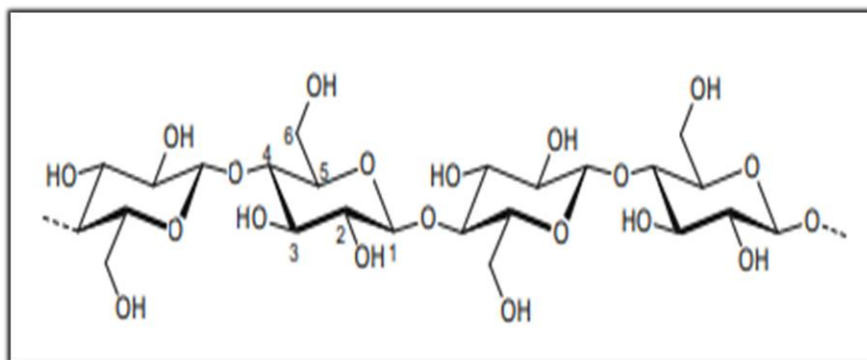


Figure 3 : Représentation d'une molécule de cellulose (Heinze et al., 2016)

3.1.2 La liaison hydrogène :

La cellulose présente plusieurs systèmes de liaisons hydrogène qui influencent ses propriétés. Ces liaisons hydrogène se forment à la fois à l'intérieur des chaînes de cellulose (liaisons intramoléculaires) et entre les chaînes de cellulose (liaisons intermoléculaires). Les liaisons intramoléculaires entre les groupes hydroxyle et les atomes d'oxygène dans la structure de la cellulose contribuent à sa rigidité et à sa cristallinité. Les liaisons intermoléculaires entre les chaînes de cellulose sont responsables de l'interaction forte et de l'assemblage en couches de la cellulose. Ces liaisons hydrogène influencent également la solubilité limitée de la cellulose dans la plupart des solvants. De plus, la présence de zones hydrophobes dans la cellulose affecte ses propriétés globales, y compris la solubilité. La cellulose présente des systèmes de liaisons hydrogène complexes qui influencent ses propriétés physiques et chimiques, y compris sa solubilité, sa cristallinité et son assemblage en couches. Ces propriétés sont essentielles pour comprendre les applications et le comportement de la cellulose dans différents domaines (**Pérez et al., 2005**).

3.1.3 Modifications cristallines :

Les différentes modifications de la cellulose après certains traitements ont été étudiées en utilisant des techniques telles que la diffraction des rayons X et la spectroscopie RMN. Ces études ont révélé des incohérences dans la structure cristalline de la cellulose, ainsi que la présence de deux phases différentes appelées cellulose I α et I β . La cellulose provenant de différentes sources présente une cristallinité comparable, mais des proportions variables de cellulose I α et I β . La cellulose végétale est principalement composée de cellulose I β , tandis que la cellulose produite par des organismes primitifs cristallise dans la phase I α . De plus, il a été constaté que la cellulose I peut être transformée en une forme cristalline plus stable appelée cellulose II par régénération à partir de l'état dissous ou par mercerisation. Ces études sur la structure cristalline de la cellulose permettent de mieux comprendre les propriétés et les transformations de ce polymère essentiel dans de nombreux domaines d'application (**Zugenmaier 2001**).

3.2 Caractéristiques physico-chimiques de la cellulose :

Le **tableau 2** présente les caractéristiques physico-chimiques de la cellulose, mettant en évidence ses propriétés.

Tableau 2 : Caractéristiques de la cellulose

Caractéristique	Description
Insolubilité (Warrilow et al. 2019)	Insoluble dans l'eau et dans la plupart des solvants organiques. Cela lui confère une grande résistance et stabilité.
Isolant thermique (Hurtado et al., 2016)	Excellent isolant naturel grâce à sa structure fibreuse qui crée des poches d'air emprisonné, réduisant ainsi la transmission de chaleur. Faible conductivité thermique, résiste donc efficacement à la propagation de la chaleur.
L'hygroscopicité (Hurtado et al., 2016)	Hygroscopique, peut absorber et libérer l'humidité de l'environnement Peut aider à réguler l'humidité dans les bâtiments, contribuant ainsi au maintien d'un environnement intérieur confortable et sain.
Biocompatibilité (Caligiuri et al., 2020)	La cellulose/ matériaux à base de cellulose sont généralement biocompatibles, ce qui les rend appropriés pour les applications en santé. Cela en fait un matériau respectueux de l'environnement, qui peut être recyclé ou dégradé naturellement.
Biodégradable (Caligiuri et al., 2020)	Polymère biodégradable, peut donc être décomposée naturellement par des processus biologiques.

4. Les effets bénéfiques de la cellulose sur la santé :

La cellulose présente une valeur plus élevée dans les potentiels biomédicaux, notamment dans la cicatrisation des plaies et les thérapies contre le cancer (**Gopinath et al., 2022**).

La consommation d'un régime à base de cellulose hautement purifiée enrichie chez les rats adultes a montré des effets bénéfiques. Bien que ce régime ait réduit la digestibilité des lipides et des protéines, il n'a pas eu d'impact sur l'utilisation des protéines, et l'équilibre azoté est resté positif, ce qui suggère l'absence de risques nutritionnels à long terme. Chez les descendants obèses de mères diabétiques, ce régime riche en cellulose a favorisé la perte de poids, amélioré le contrôle glycémique et réduit les lipides sanguins (**Bensalah et al., 2018**).

Les dérivés de cellulose modifiés chimiquement, ont ouvert de nouvelles perspectives dans les domaines de la délivrance de médicaments et de l'ingénierie tissulaire. De plus, les avancées dans diverses méthodes de délivrance de médicaments sous l'influence de réponses spécifiques à des stimuli tels que le pH, la température, la délivrance assistée par magnétisme. Ces propriétés font des celluloses modifiées de précieux outils potentiels pour les applications biomédicales (**Gopinath et al., 2022**).

La cellulose nanocristalline, dérivée de la cellulose, a suscité un intérêt accru et une attention soutenue dans le domaine des maladies cardiovasculaires en raison de ses nanodimensions et de sa résistance. Il s'agit d'un biomatériau utilisé pour réparer les zones blessées et malades des vaisseaux sanguins ou pour les remplacer entièrement. De plus, la nature poreuse et perméable de la nanocellulose favorise la colonisation cellulaire et la croissance de nouveaux tissus. Cela peut contribuer à la formation d'un tissu néovasculaire sain autour de la greffe, réduisant ainsi le risque de formation de caillots sanguins. Par conséquent, les particules de cellulose nanocristalline sont encouragées à être utilisées dans l'industrie biomédicale, notamment pour la régénération osseuse, vasculaire et hépatique artificielle, le cartilage et la cicatrisation des plaies (**Bhat et al., 2017**).

Les effets bénéfiques de la cellulose ont été étudiés en termes de effets anticancéreux, d'activité antioxydante, ainsi que de contrôle glycémique et lipidique (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Propriétés de la cellulose dans le contexte de différentes maladies

Propriétés	Effets observés
<p>Effet anticancéreux (Li et al., 2021)</p>	<p>La supplémentation en cellulose induit des changements dans la flore intestinale chez les souris atteintes de cancer colorectal :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les niveaux de cytokines pro-inflammatoires sont réduits. - L'expression des marqueurs inflammatoires sont diminuée dans les tissus intestinaux. - Réduction de la taille et du nombre de tumeurs, ainsi qu'une diminution de leur activité.
<p>Activité antioxydant (Bensalah et al., 2018)</p>	<p>La correction du déséquilibre entre les oxydants/antioxydants et la réduction du stress oxydatif causés par les troubles liés à l'obésité sont observées suite à la consommation d'un régime très enrichi en cellulose pure. Les niveaux de MDA et de protéines carbonylées sont diminués chez les rats obèses nourris avec ce régime.</p>
<p>Contrôle glycémique (Bensalah et al., 2018)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Libération d'hormones intestinales qui stimule la liaison de l'insuline aux récepteurs des monocytes et des adipocytes en améliorant la sensibilité à l'insuline. - Un lien entre la résistance à l'insuline et le stress oxydatif sont rapportées. - Un contrôle glycémique raisonnable est constaté.
<p>Contrôle lipidique (Bensalah et al., 2018)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - L'effet de la cellulose hautement pure sur la réduction de manière significative des niveaux de cholestérol et de TG dans le plasma et les lipoprotéines chez des rats obèses. - Diminution significative du LDL-C, du VLDL-TG et des triglycérides plasmatiques. - La cellulose a un effet bénéfique sur le profil lipidique, en contribuant à une meilleure régulation des lipides sanguins chez les rats obèses (Fig. 4).

L'effet des fibres alimentaires insolubles sur l'obésité chez les souris soumises à un régime riche en matière grasse et à déterminer le mécanisme par lequel il prévient l'obésité en régulant le microbiote intestinal. Les fibres alimentaires insolubles extraites du soja ont été utilisées comme intervention chez des souris soumises au régime pendant 20 semaines. Les résultats ont montré que les fibres réduisaient significativement le poids corporel, l'indice de graisse, le cholestérol total, les triglycérides et le cholestérol des lipoprotéines de basse densité, tout en augmentant la teneur en cholestérol des lipoprotéines de haute densité chez les souris obèses. L'intervention avec les fibres insolubles était également bénéfique pour la réduction de la teneur en lipides du foie et des gouttelettes grasses chez les souris et améliorait la composition du microbiote intestinal en augmentant l'abondance relative de bactéries potentiellement bénéfiques. Enfin, les fibres insolubles étaient fermentés par des bactéries bénéfiques connexes, ce qui augmentait la teneur en acides gras à chaîne courte et favorisait la sécrétion d'hormones de satiété (**Wang et al., 2021**).

La consommation d'un régime alimentaire enrichi en cellulose hautement purifiée par des rats tout au long de leur vie adulte réduit la digestibilité des lipides et des protéines. Cependant, ce régime n'a pas d'effet sur l'utilisation des protéines et l'équilibre azoté reste positif, ce qui confirme que le régime ne présente pas de risques nutritionnels significatifs à long terme. En effet, chez les descendants obèses de mères diabétiques, ce régime alimentaire associé à une sensation de satiété élevée favorise la perte de poids. Ce régime présente un effet protecteur contre les anomalies métaboliques (**Bensalah et al., 2018**).

Les aliments contenant une quantité élevée de fibres de cellulose, tels que les fruits, les légumes et les céréales complètes, prennent plus de temps à être digérés, ce qui prolonge la sensation de satiété. La cellulose, en tant que fibre non digérable, traverse le système digestif pratiquement intacte. Elle a la capacité de se lier aux substances caloriques présentes dans les aliments que nous consommons, ce qui empêche leur absorption et réduit ainsi l'apport calorique (**Berer et al., 2018**).

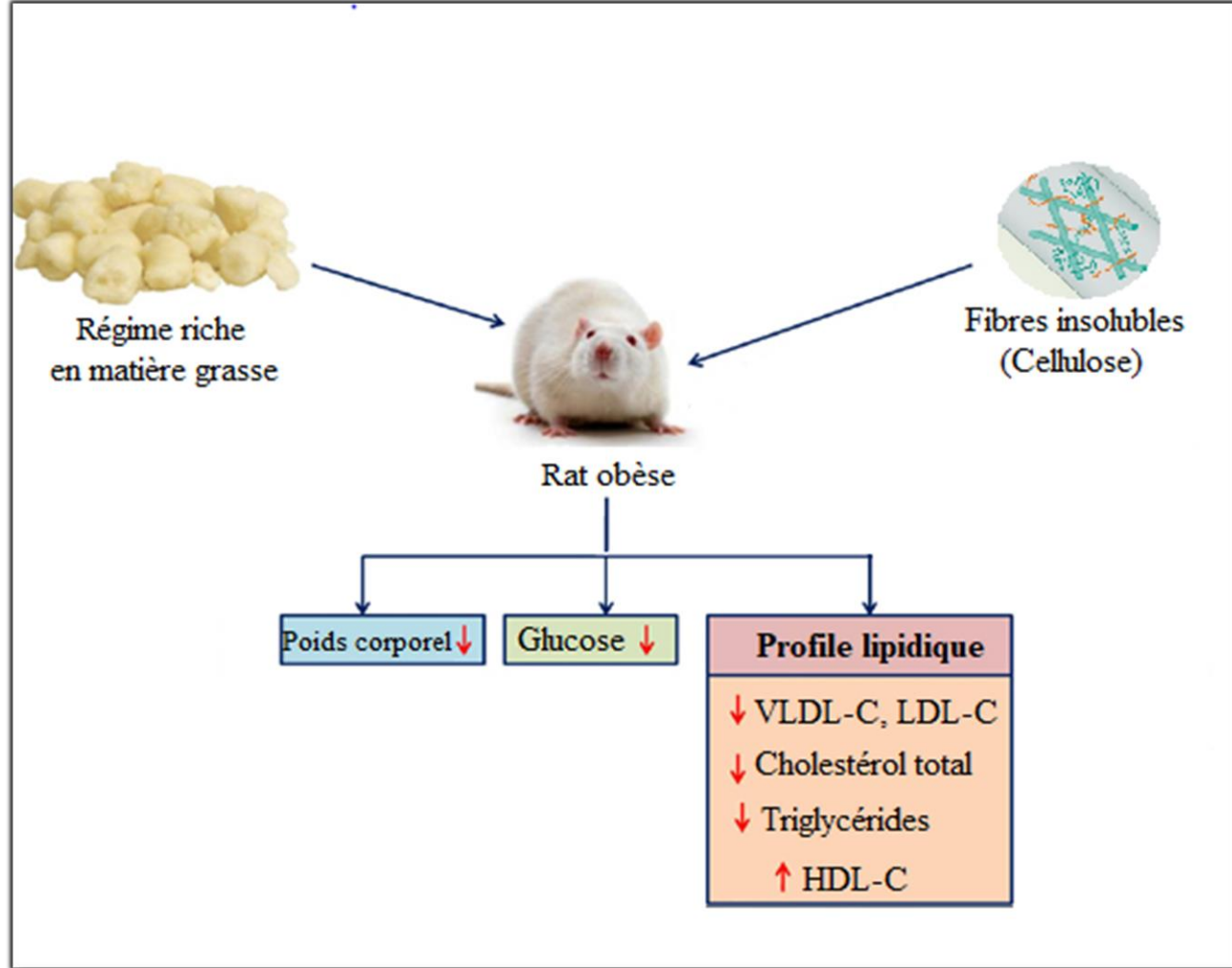


Figure 4 : Effets des fibres insolubles sur l'obésité et les paramètres biochimiques (Chang *et al.*, 2017)

5. La pectine :

La pectine est un polysaccharide qui a été identifié pour la première fois dans le jus de pomme par Vauquelin en 1790. Son nom vient du mot grec "pektikos", signifiant "se congeler". La pectine est un biopolymère indispensable dans les végétaux (**Figure 5**). Se trouvant dans toutes les plantes et étant localisée au niveau de la paroi cellulaire. Elle assure la cohésion et la rigidité de la plante en agissant comme un ciment intercellulaire (**Chan, 2017**).

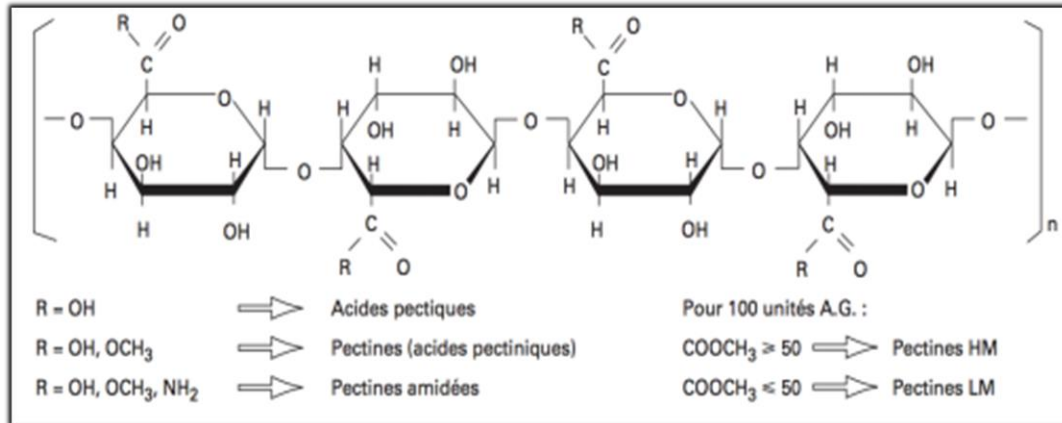


Figure 5 : Représentation de la structure de la pectine (Tilly, 2010)

5.1 Structure de la pectine :

5.1.1 Monomères d'acide galacturonique

La pectine est principalement constituée de monomères d'acide galacturonique, qui est un acide uronique obtenu par l'oxydation du carbone 6 du monosaccharide de. Dans les polymères de pectine, la forme D de l'acide galacturonique est la plus courante en raison de la chiralité induite par la présence de carbones asymétriques dans la molécule (**Zdunek et al., 2021**).

5.1.2 Biopolymère de pectine :

La pectine est un biopolymère composé principalement de monomères d'acide galacturonique qui se polymérisent pour former des chaînes de pectine. Les liaisons glycosidiques impliquent les fonctions hydroxyles des monomères en position C1 et C4. La pectine peut également contenir plus de 17 autres monosaccharides qui dépendent de son origine. Les monomères d'acide galacturonique peuvent subir différentes modifications, telles que l'acétylation, l'amidation et l'estérification, qui ont un impact sur les propriétés de la pectine (**Chan, 2017**).

5.2 Caractéristiques physico-chimiques de la pectine :

Le **Tableau 4** présente les caractéristiques physico-chimiques de la pectine, mettant en évidence ses propriétés

Caractéristiques	Description
Solubilité (Chen 2015)	<p>Sa solubilité dans l'eau dépend généralement de la distribution des groupements méthoxylés et de sa masse molaire. La pectine doit être dans une solution dont le pH > 5,5.</p> <p>La solubilisation se produit en trois étapes : hydratation, gonflement et dissolution.</p>
Stabilité (Liao et al., 2022)	<p>Les particules chargées dipolairement s'attirent les unes les autres, mais l'ajout de pectine permet aux chaînes de pectine de se lier aux charges positives des particules de caséine, les empêchant ainsi de s'agglomérer.</p> <p>En l'absence de pectine à un pH < 4,6, les molécules de caséine se chargent positivement et forment des particules dipolaires qui précipitent lorsqu'elles interagissent.</p>
Effet viscosifiant (Khubber et al., 2023)	<p>La pectine fortement méthylée est utilisée dans les boissons fruitées en raison de son poids moléculaire élevé qui lui permet de former des réseaux de gel plus solides et de retenir davantage d'eau.</p> <p>Ils ont généralement moins de groupements acétyles dans leurs chaînes, ce qui contribue également à leurs caractéristiques préférées dans les applications alimentaires.</p>
Effet gélifiant (Khubber et al., 2023)	<p>Les pectines fortement méthylées (DE ≥ 50%) forment un gel dans un milieu acide à forte teneur en sucre (> 50%), tandis que les pectines faiblement méthylées (DE <50%) forment un gel par différents mécanismes en présence des ions de calcium. Les gels de pectine hautement méthylées sont plus faibles que les gels de pectine faiblement méthylées. La formation de gels est normalement observée à une concentration supérieure à 1 %.</p>

Tableau 4 : Caractéristiques de la pectine

6. Les effets bénéfiques de la pectine sur la santé :

Le cancer du côlon et du sein fait partie des maladies pour lesquelles des données suggèrent que la pectine modifiée, et en particulier la pectine modifiée d'agrumes, a des effets bénéfiques sur le développement et la propagation des tumeurs, en plus de ses avantages en tant que fibre alimentaire soluble. Des études cellulaires, sur des animaux et des essais cliniques sur des humains ont fourni des données similaires. Bien que la pectine ait de nombreuses qualités fonctionnelles diverses, cette revue se concentre sur les diverses modifications utilisées pour développer la et ses avantages pour la prévention du cancer, la biodisponibilité, les essais cliniques et les études de toxicité. Cette revue conclut que la pectine possède des caractéristiques anti-cancéreuses qui ont été trouvées pour inhiber le développement et la prolifération des tumeurs dans une grande variété de cellules cancéreuses (**Emran et al., 2022**).

La pectine a montré des effets inhibiteurs sur la prolifération des cellules cancéreuses mammaires et peut induire l'apoptose. De plus, elle a montré des propriétés antiprolifératives et anti-invasives, réduisant la prolifération des cellules cancéreuses gastriques et inhibant leur capacité à migrer et à envahir d'autres tissus. Ces résultats prometteurs suggèrent que la pectine pourrait être un agent potentiel dans la lutte contre ces différents types de cancer. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre les mécanismes d'action de la pectine et son potentiel thérapeutique dans ces contextes spécifiques. Les effets de la pectine sur les différents cancers, tels que le sein, gastrique, pancréatique et colorectal, sont détaillés dans le **tableau 5**.

La pectine possède plusieurs propriétés bénéfiques pour la santé, notamment en ce qui concerne l'activité antioxydante, le contrôle lipidique et glycémique (**Tableau 6**).

Tableau 5 : Effets de pectine sur différents cancers

Types de cancer	Molécule	Dose	Effets
Gastrique (Hayashi et <i>al.</i> , 2000; Kapoor at <i>al.</i> , 2017)	Pectine d'agrumes à pH modifié	0,8 - 1,6 mg/mL	Réduire la taille du tumeur
	Pectine oligosaccharide	0,02 g/mL	Réduire l'activité de galectin-3. Induit l'apoptose.
Colon (Rajulapati et <i>al.</i> , 2021; Heitman at <i>al.</i> , 1992)	Pectine oligosaccharide	0,1 - 1 mg/mL	Une diminution de la capacité des cellules HT-29 à se diviser et à se reproduire. Une augmentation de la toxicité ou des dommages causés aux cellules HT-29. Une diminution de la survie ou de la capacité de survie des cellules HT-29.
	Pectine	0,05 - 0,1 g/mL	Suppression de la carcinogène Reduction de la formation de tumeur
Sein (Salehi et <i>al.</i> , 2018)	La pectine d'agrumes.	0,01 g/mL	Diminution de la viabilité des cellules cancéreuses et l'expression de l'ARNm de galectin-3
Pancréas (Lin et <i>al.</i> , 2016)	Pectine	1 g/mL.	Inhibe la croissance des cellules cancéreuses.

Tableau 6 : Propriétés de la pectine sur différentes maladies

Propriétés	Effets observés
Activité antioxydant (Celus et al., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité de chélater les ions métalliques pro-oxydants tels que le Fe²⁺. La pectine de citron peut être utilisée comme une alternative naturelle aux antioxydants artificiels dans l'industrie alimentaire. - En raison de son impact sur la stabilité des émulsions, il est important de formuler soigneusement les produits alimentaires à base de pectine pour obtenir une stabilité optimale tout en préservant ses fonctionnalités antioxydantes.
Contrôle glycémique (Guo et al., 2023)	<p>Exerce des effets bénéfiques sur la régulation de la flore intestinale. Les métabolites produits par la flore intestinale, tels que les AGCC, les acides biliaires et les lipopolysaccharides, jouent un rôle dans la régulation de la glycémie. Les AGCC favorisent la synthèse de l'insuline par le biais des voies de signalisation dérivées de l'intestin, ce qui conduit à la synthèse de glycogène hépatique.</p>
Contrôle lipidique (Wang et al., 2023)	<p>Peut réduire l'hyperlipidémie en augmentant les bactéries intestinales bénéfiques et en modulant les niveaux de AGCC.</p> <p>La pectine a significativement diminué les taux de TC et TG dans le sérum des rats. Elle a significativement restauré les modifications du rapport HDL-C/TC induites par le régime HFD, ce qui indique qu'ils pourraient réduire le risque de maladies cardiovasculaires.</p>

La consommation de pectine a réduit la prise de poids induite par le régime riche en matières grasses et le développement adipeux, ainsi que les élévations de la glycémie (**Fig. 6**). La pectine avec sa capacité élevée de liaison à l'eau et donnait une sensation de satiété en augmentant les concentrations circulantes des hormones de satiété intestinale libérées par GPR41 et GPR43, telles que la GLP-1 et la PYY. Ces hormones étaient favorisées par l'acétate ou le propionate lors de la fermentation bactérienne, empêchant ainsi l'interaction des aliments avec les enzymes intestinales et le transit intestinal ultérieur. Par conséquent, la présence significativement plus élevée d'AGCC. La réduction du poids des dépôts de graisse et la diminution de la taille des cellules grâce au traitement à la pectine pourraient être le résultat d'une réduction de l'apport énergétique en raison de l'effet de satiété induit par la pectine chez les souris. De plus, les AGCC ont un effet bénéfique sur la signalisation de l'insuline spécifique aux tissus adipeux, ce qui entraînait une accumulation réduite des tissus adipeux blancs (**Zhao et al., 2022**).

La pectine, a été étudiée pour ses effets sur la satiété et la réduction de l'adiposité chez des rats obèses induits par l'alimentation. En revanche, les effets d'une augmentation de la quantité de protéines demeurent inconnus. Dans le cadre de cette étude, des rats adultes obèses induits par un régime riche en matières grasses ont été soumis à différents régimes alimentaires pendant une période de 4 semaines un régime riche en matières grasses en tant que témoin, un régime riche en matières grasses avec une teneur élevée en protéines sous forme de caséine ou de protéine de pois, ou ces mêmes régimes auxquels 10 % de pectine (en poids) ont été ajoutés. Les résultats de l'étude ont démontré que la pectine alimentaire, mais pas les protéines élevées, a entraîné une réduction de l'apport alimentaire de l'ordre de 23 % et une perte de graisse corporelle. Ces effets ont conduit à une diminution de 12 % du poids corporel final et une réduction de 44 % de la masse grasse totale par rapport au groupe témoin. L'insuline plasmatique a diminué de 44 % avec la pectine. Dans l'ensemble, ces données indiquent que les régimes riches en fibres alimentaires solubles, comme la pectine, sont plus efficaces que les régimes riches en protéines pour favoriser la satiété, réduire l'apport calorique et la quantité de graisse corporelle chez les individus obèses. La pectine alimentaire a montré une capacité à réduire l'apport alimentaire, ce qui peut contribuer à la perte de poids (**Adam et al., 2016**).

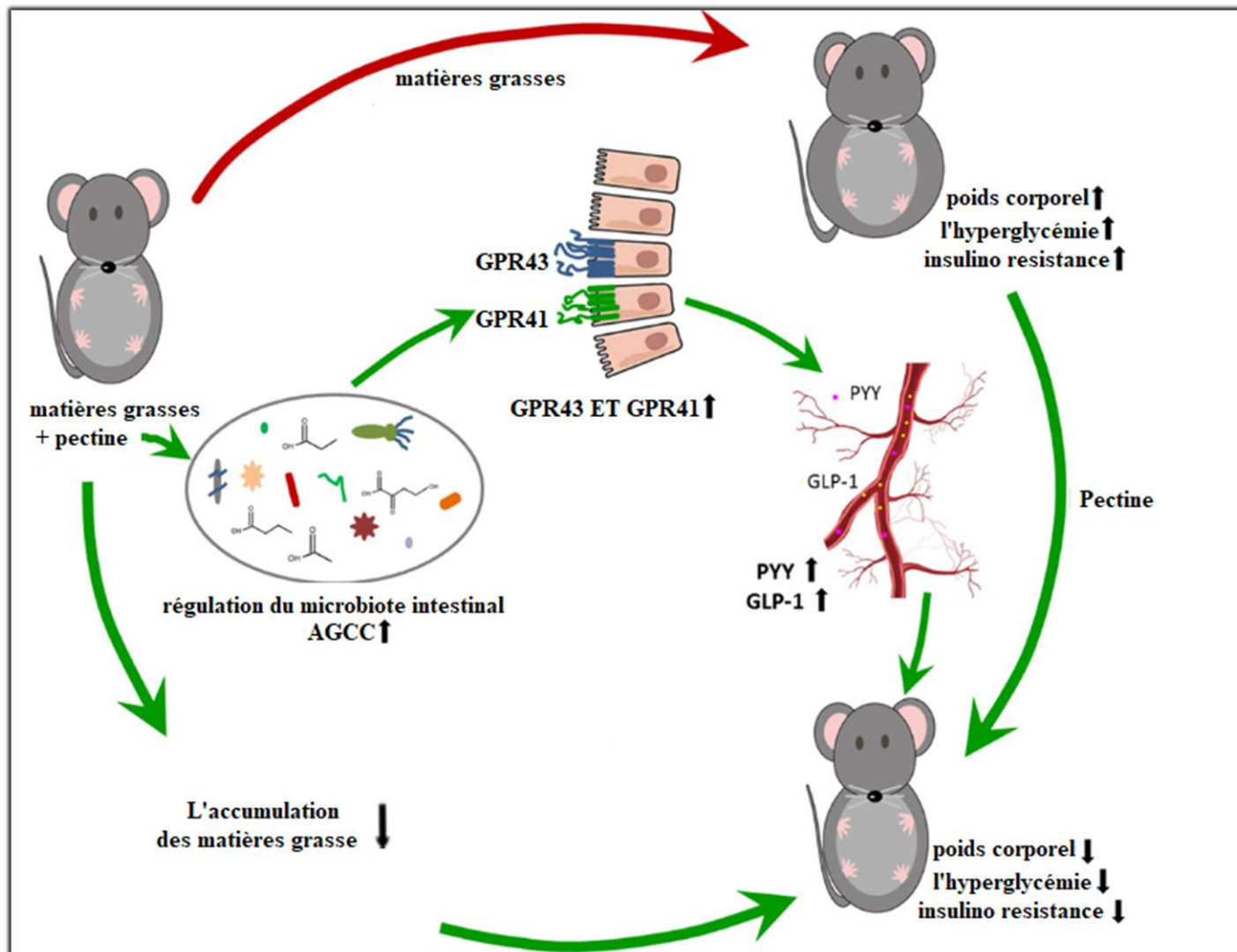


Figure 6 : Effets de la pectine sur l'obésité induite par un régime riche en matières grasses (Zhao et al., 2022)

Chapitre 2 : Effets des fibres d'écorces d'orange

La transformation et la consommation des agrumes, en particulier des oranges, produisent de grandes quantités de sous-produits tels que les pépins, les écorces et les pulpes, qui peuvent représenter jusqu'à 50-60% du poids total du fruit. Les écorces, qui sont le principal sous-produit non traité, peuvent causer une pollution environnementale. Cependant, ces écorces sont souvent utilisées comme aliment pour les animaux, pour la production de fibres ou de carburant, et même pour la fertilisation des sols (Michael et al., 2023).

La **figure 7** montre les parties comestibles et non comestibles des variétés d'agrumes.

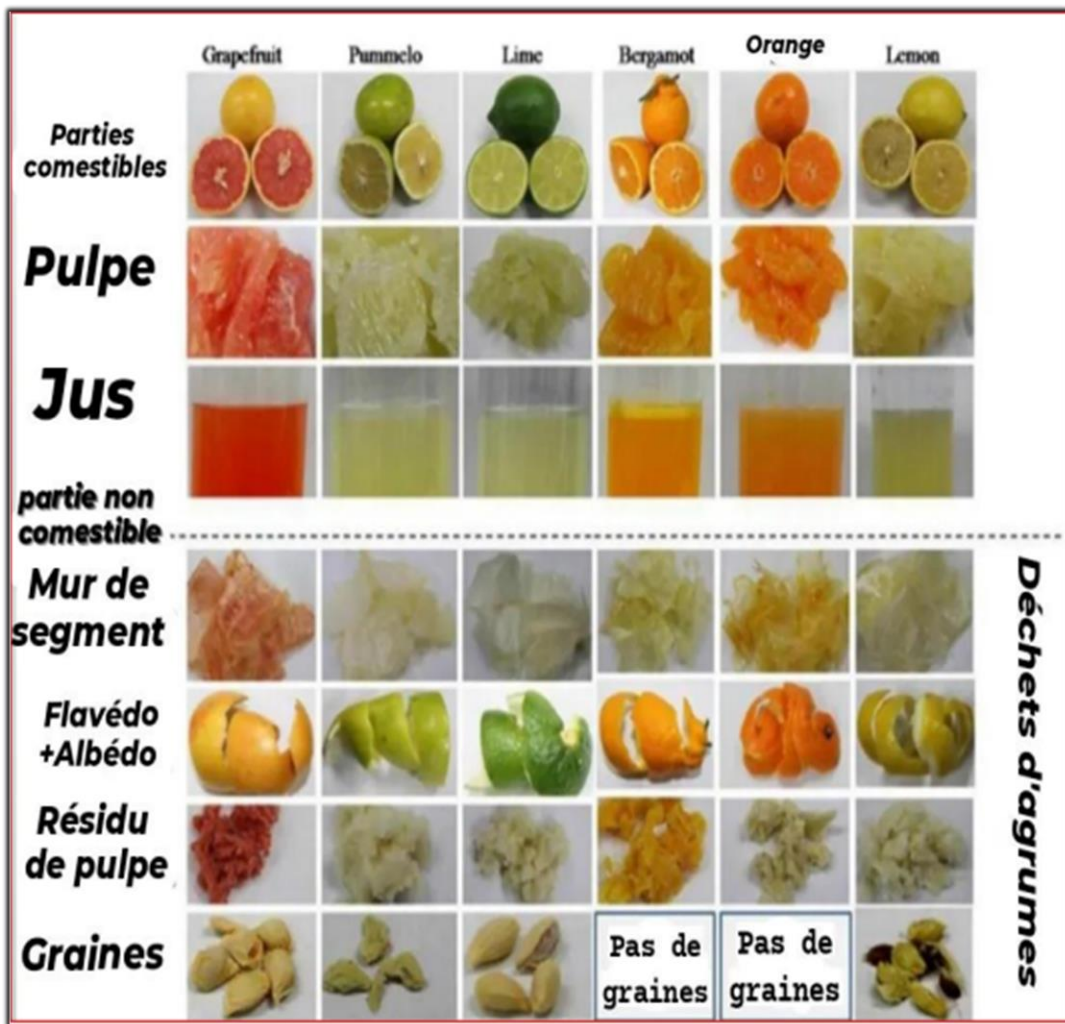


Figure 7 : Proportions comestibles, non comestibles et déchets des principales variétés d'agrumes cultivées dans le monde (Mahato et al., 2018)

1. L'écorce de l'orange :

1.1 Composition chimique globale :

Les écorces d'orange sont riches en nutriments tels que les fibres alimentaires, les vitamines C et les composés phénoliques (**Tableau 7**).

La figure 8 met en évidence la présence des fibres alimentaires solubles et insolubles.

Tableau 7 : Composition chimique globale des écorces d'orange (M'hiri, 2015)

Composition chimique	Concentration (g/100g)
Eau	60-75 %
Lipides	1,66g
Protéines	1,79g
Glucides	15,01g
Minéraux	3,45g
Fibres	41,64g
Caroténoïdes	0,04g
Phénols totaux	19,62g
Vitamines c	1,15g
Huiles essentielles	0,6g

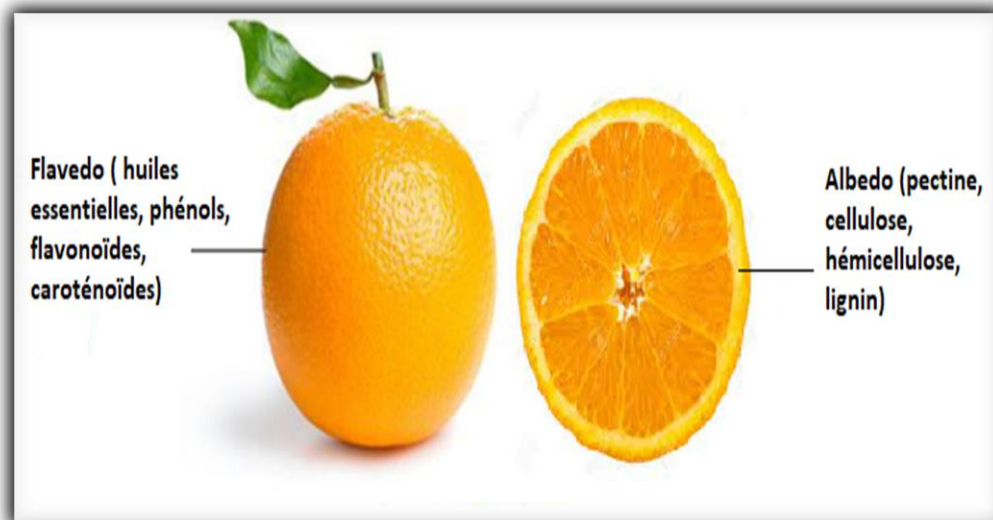


Figure 8 : Anatomie d'une orange (Suri et al., 2022)

2. Fibres alimentaires des écorces d'orange :

Les écorces d'orange sont riches en fibres alimentaires, notamment en cellulose et en hémicellulose insoluble, dont les teneurs sont plus élevées que celles des autres variétés. Les teneurs en fibres hydrosolubles varient selon les variétés d'agrumes. Cependant, les écorces d'orange présentent des teneurs plus fortes en fibres par rapport à d'autres variétés telles que la mandarine et le citron **(M'hiri, 2015)**.

L'industrie alimentaire, les consommateurs et les chercheurs manifestent un intérêt croissant pour l'utilisation d'ingrédients non conventionnels dans les produits alimentaires. Cela est attribué au profil nutritionnel favorable des sous-produits de fruits et légumes, qui peuvent réduire le risque de développer des maladies chroniques non transmissibles **(Mak et al., 2018)**.

Les résidus alimentaires tels que les pelures, les graines, les membranes, les tiges et les feuilles ont un taux élevé de déchets dans le monde entier. Dans les pays à revenu élevé, l'élimination des sous-produits est d'environ 30%, tandis que dans les pays à faible revenu, elle dépasse 60%. Le Brésil, par exemple, rejette environ 40 à 50% des sous-produits chaque année **(FAO, 2021)**.

Les pertes alimentaires se produisent pendant la production, la transformation, la vente au détail ou en raison d'une élimination incorrecte des restaurants et des consommateurs finaux. Néanmoins, les pelures, les membranes et les graines contiennent une forte teneur nutritionnelle, suggérant un potentiel d'ajout en tant qu'ingrédient dans les produits alimentaires **(Hartikainen et al., 2018)**.

Les sous-produits de l'orange, tels que la peau, les membranes et les graines, sont souvent jetés dans l'environnement, ce qui augmente la quantité de déchets organiques dans la nature. Toutefois, ces sous-produits contiennent des niveaux élevés de vitamines, de minéraux et de fibres alimentaires. Des recherches ont montré que l'ajout d'écorces d'agrumes à divers produits alimentaires peut améliorer leur qualité sensorielle et nutritionnelle. Par conséquent, l'utilisation de résidus d'agrumes dans les produits alimentaires peut être viable pour améliorer leur profil sensoriel, physico-chimique et nutritionnel, tout en contribuant à la préservation de l'environnement **(Tejada et al., 2018)**.

3. Effets des fibres d'écorces d'Orange sur l'obésité :

3.1 L'obésité :

L'obésité est liée à une mortalité prématurée et constitue une menace sérieuse pour la santé publique, contribuant grandement au fardeau mondial des maladies non transmissibles telles que le diabète de type 2, les maladies cardiovasculaires, l'hypertension et certains types de cancer. En outre, elle entraîne des problèmes mécaniques tels que l'ostéoarthrite et l'apnée du sommeil, qui ont un impact négatif sur la qualité de vie des individus (**GBD, 2017**).

Bien que les modifications environnementales aient sans aucun doute contribué à l'augmentation rapide de la prévalence de l'obésité, cette condition résulte d'une interaction entre les facteurs biologiques innés et environnementaux. Il est crucial de noter que la variation interindividuelle importante du poids corporel est en grande partie due à une composante génétique. Des études menées sur des jumeaux, des familles et des enfants adoptés ont évalué que l'héritabilité de l'obésité se situe entre 40% et 70%. En conséquence, des approches génétiques peuvent être utilisées pour identifier les mécanismes physiologiques et moléculaires qui contrôlent le poids corporel (**Elks et al., 2012**).

L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) définit l'obésité chez les adultes et les enfants comme étant une accumulation excessive de tissu adipeux ayant des effets néfastes sur la santé. C'est une maladie chronique qui évolue en fonction de l'environnement (**OMS, 2016**).

La **figure 9** offre une représentation visuelle des facteurs socio-économiques, psychologiques et environnementaux qui exercent une influence significative sur la prévalence et l'incidence de l'obésité.

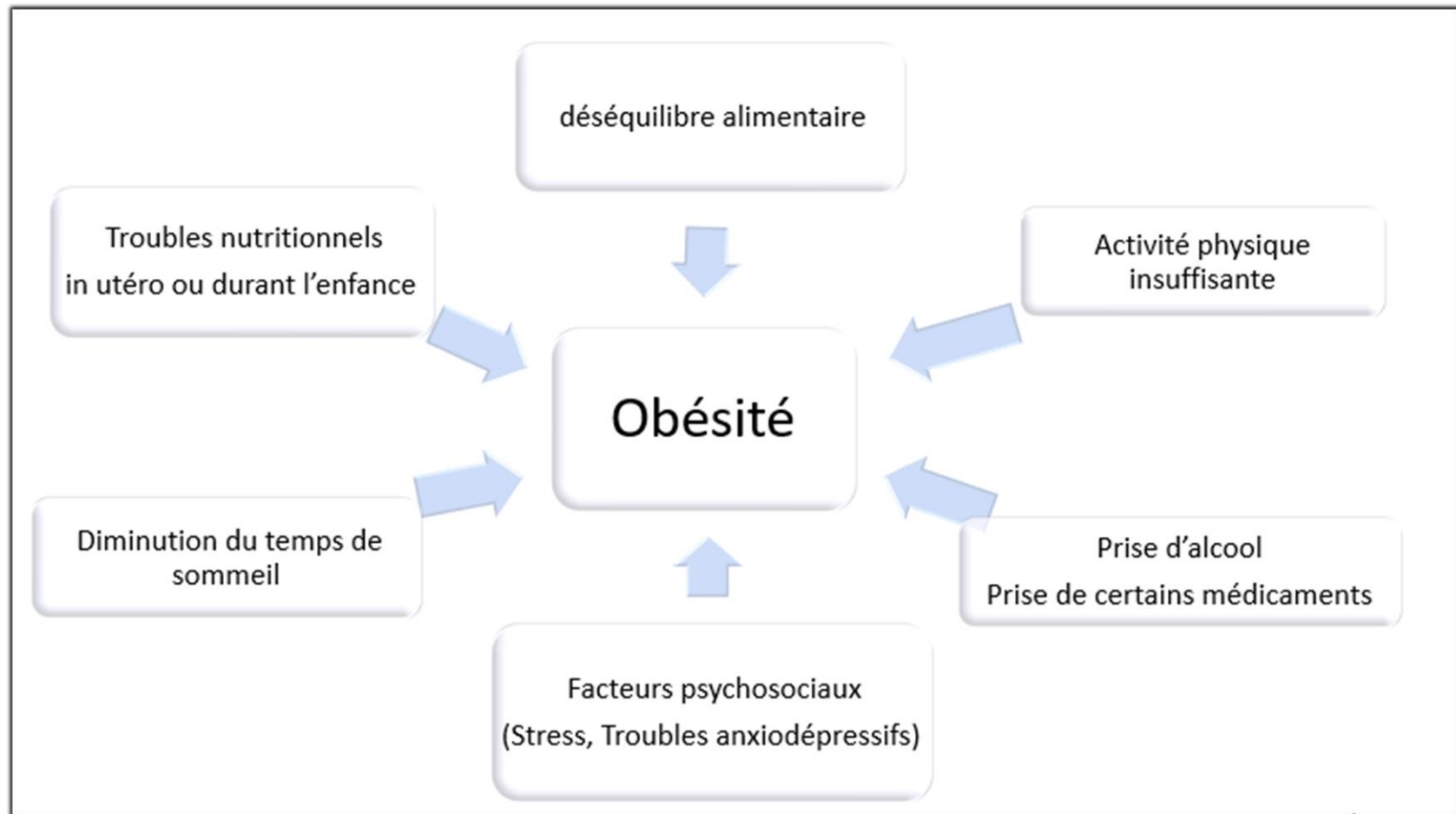


Figure 9 : Facteurs socio-économiques, psychologiques et environnementaux de l'obésité (Mas et *al.*, 2021)

3.2 Types d'obésité :

Deux types d'obésité sont distingués, chacun présentant des risques différents. L'obésité androïde, également connue sous le nom d'obésité centrale ou abdominale, se développe sur la partie supérieure du corps, notamment au niveau du tronc, de l'abdomen, de la ceinture scapulaire, du cou et du visage. Les personnes atteintes de cette forme d'obésité sont exposées à des complications cardiovasculaires, hépatiques et métaboliques telles que le diabète, le cholestérol et l'hypertension. D'autre part, l'obésité gynoïde, également connue sous le nom d'obésité périphérique, affecte la partie inférieure du corps, en particulier les fesses, les cuisses et le bas de l'abdomen. Les personnes atteintes de cette forme d'obésité sont plus susceptibles de souffrir de complications articulaires telles que l'arthrose, ainsi que de problèmes veineux. En raison de ses complications plus graves, l'obésité abdominale est considérée comme plus dangereuse que l'obésité périphérique (**Cieślińska et al., 2017**).

Depuis des siècles, les médecines asiatiques utilisent les écorces d'agrumes pour soigner les problèmes digestifs et améliorer les conditions bronchiques et asthmatiques. Les flavonoïdes des agrumes sont divisés en deux groupes, les glycosides de flavones tels que la naringine, l'hespéridine et la néphésidine, et les flavones polyméthoxylées tels que la nobilétine, la sinensétine et la tangerétine. Les flavonoïdes ont diverses activités biologiques, telles que des effets anti-athérogènes, anti-inflammatoires et anticancéreux. L'écorce de *Citrus sunki* HORT. Ex TANAKA est une source riche en flavanones et en PMF, qui sont très rares dans d'autres plantes. Des recherches ont montré que les phytochimiques des agrumes, tels que la synéphrine et l'auraptène, ont des propriétés anti-obésité en augmentant la lipolyse in vitro et in vivo (**Nagao et al., 2010**).

Les écorces d'orange contiennent des fibres alimentaires telles que la cellulose, la pectine et les hémicelluloses. Ces fibres ont des effets bénéfiques sur l'obésité en favorisant la satiété, en régulant la digestion et l'absorption des nutriments, et en maintenant des niveaux de sucre sanguin stables (**Tableau 8**).

Tableau 8 : Effets des fibres alimentaires sur l'obésité

Fibres	Effets sur l'obésité
<p>Cellulose (Berer <i>et al.</i>, 2018)</p>	<p>Favoriser la perte de poids : Les aliments riches en fibres de cellulose (fruits, légumes et céréales complètes prennent plus de temps à être digérés, ce qui prolonge la sensation de satiété. La fibre de cellulose n'étant pas digérée par l'organisme, elle traverse le système digestif presque intacte. Elle peut se lier à des calories présentes dans les aliments ingérés, empêchant ainsi leur absorption et réduisant l'apport calorique.</p>
<p>Inuline (Nakajima <i>et al.</i>, 2022)</p>	<p>Des souris ayant reçu de l'inuline montrent des changements dans le microbiote intestinal, conduisant à la production de métabolites bénéfiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réduction du tissu adipeux viscéral et de la taille des adipocytes. - Amélioration de la tolérance au glucose et une augmentation de la dépense énergétique. - Augmentation des acides gras à chaîne courte et de l'acide succinique dans les fèces et le sang.
<p>Pectine (Zhao <i>et al.</i>, 2022)</p>	<p>Avec une dose de 8-12% a contrecarré les effets néfastes induits par un régime hyperlipidique qui ont été ramenés à des niveaux normaux lors du retrait du supplément de pectine.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une atténuation significative des lésions coliques et de la stéatose hépatique chez des souris obèses supplémentées en pectine de 5-8%. - Inhibition de du tissus adipeux, augmentation de la masse de la paroi intestinale.
<p>Alginat (Houghton <i>et al.</i>, 2015)</p>	<p>Son incorporation dans du pain, pourrait avoir un potentiel dans le traitement de l'obésité</p> <ul style="list-style-type: none"> - Il conserve ses propriétés inhibitrices des enzymes digestives malgré la cuisson et la digestion. - N'augmente pas significativement la viscosité dans le tube digestif. - Bien que la viscosité de l'alginate diminue au-delà de 100°C, il conserve ses propriétés inhibitrices jusqu'à 150°C. - La cuisson dans le pain ne réduit pas la taille moléculaire de l'alginate et n'affecte pas ses propriétés inhibitrices.
<p>Hémicellulose (Jana <i>et al.</i>, 2021)</p>	<p>Fibre prébiotique qui favorise la croissance des bactéries bénéfiques de l'intestin et la production d'acides gras à chaîne courte,</p> <ul style="list-style-type: none"> - Effets anti-inflammatoires - Peut aider à réduire le risque d'obésité et d'autres maladies chroniques.

4. Effets des fibres d'écorces d'orange sur les maladies métaboliques :

Les régimes riches en fibres sont bénéfiques pour la gestion du diabète, entraînant des améliorations du contrôle glycémique, des lipides sanguins, du poids corporel et de l'inflammation, ainsi qu'une réduction de la mortalité prématurée. Ces avantages s'appliquent à différents types de fibres et de diabètes, et sont observables sur une large gamme d'apports en fibres. Une augmentation de l'apport quotidien en fibres de 15 g à 35 g est recommandée pour réduire le risque de mortalité prématurée chez les adultes atteints de diabète (**Weickert et al., 2018**).

Une étude a examiné l'effet de l'apport en fibres alimentaires sur la survie des patients atteints de cancer colorectal (CCR). Les chercheurs ont analysé une cohorte de 504 patients atteints de CCR et ont réalisé une méta-analyse incluant les résultats de quatre autres études de cohortes prospectives. Les patients atteints de CCR ayant un apport en fibres alimentaires plus élevé présentaient un risque réduit de mortalité toutes causes confondues et de mortalité spécifique au CCR. Plus précisément, les patients du deuxième quartile d'apport en fibres avaient un risque de mortalité toutes causes confondues inférieur de 42% et un risque de mortalité spécifique au CCR inférieur de 58% par rapport à ceux du quartile le plus bas. La méta-analyse a également montré une association inverse entre l'apport en fibres alimentaires et la mortalité totale chez les patients atteints de CCR. Chaque augmentation de 10 g/jour de l'apport en fibres alimentaires était associée à une réduction de 16% du risque de mortalité totale. Il a été observé une relation linéaire entre l'apport en fibres alimentaires et la mortalité toutes causes confondues, sans atteindre un plateau. De manière intéressante, en ce qui concerne la mortalité spécifique au CCR, les bénéfices liés à une augmentation de l'apport en fibres alimentaires ont atteint leur maximum à environ 22 g/jour, et aucune réduction supplémentaire de la mortalité spécifique au CCR n'a été observée au-delà de ce niveau (**Zhao et al., 2022**).

Une consommation élevée de graisses saturées a été associée à un risque accru de MCV, tandis qu'un régime méditerranéen riche en fibres a montré des effets bénéfiques sur la survie. Une augmentation de 10 g de l'apport en fibres alimentaires correspond à une réduction significative de 19% du risque de MCV. Les femmes consommant plus de 20 g de fibres par jour ont montré une diminution de 47% du risque de maladies coronariennes par rapport à celles qui en consommaient seulement 11,5 g par jour. De plus, une étude sur une cohorte de plus de 39 000 femmes a révélé une association inverse entre la consommation de fibres et le risque de

MCV. Une analyse supplémentaire a montré que les fibres céréaliers étaient fortement associées à une réduction du risque d'infarctus du myocarde, tandis que la consommation de fruits et légumes était significativement liée à une diminution du risque d'accident vasculaire cérébral. Le régime méditerranéen, qui est connu pour être riche en fibres, a été associé à une réduction de 29% de la mortalité due aux MCV sur une période de 10 ans (**King et al., 2005**).

Etude populationnelle a impliqué une sous-cohorte de 307 hommes participant à l'étude de validation du mode de vie des hommes, qui faisait partie de l'étude de suivi des professionnels de la santé. Les chercheurs ont évalué les métagénomiques et métra transcriptomes des selles des participants pour analyser la composition et les activités du microbiote intestinal. Les résultats ont montré une association significative entre la consommation de fibres alimentaires et la composition du microbiote intestinal. En ce qui concerne l'inflammation systémique, mesurée par les taux de protéine C-réactive (CRP), les chercheurs ont observé une réduction significative de la CRP chez les individus ayant une consommation élevée de fibres. Cette réduction était plus marquée chez les participants ne portant pas *Prevotella copri*, une espèce bactérienne spécifique du microbiote intestinal (**Ma et al., 2021**).

5. Effets des fibres d'écorces d'orange sur le métabolisme lipidique :

En règle générale, l'obésité est associée à des troubles lipidiques, les niveaux de lipides sanguins, à savoir le cholestérol total (CT), les triglycérides (TG), le cholestérol des lipoprotéines de basse densité (LDL-C) et le cholestérol des lipoprotéines de haute densité (HDL-C), sont des indicateurs importants permettant de détecter les variations des lipides sanguins (**Chen et al., 2021**).

Les niveaux de HDL-C sont négativement corrélés avec la progression de l'athérosclérose carotidienne, tandis que des niveaux plus élevés de LDL-C et des niveaux plus bas de HDL-C peuvent être corrélés avec des maladies cardiovasculaires (MCV) telles que les accidents vasculaires cérébraux. Ce ratio LDL-C/HDL-C s'est avéré plus précieux que chaque composant lipidique individuel, en particulier le LDL-C, pour prédire le risque de MCV (**Wang et al., 2023**).

La **figure 10** résume les effets des fibres alimentaires sur la physiologie humaine. Elle met en évidence les différents mécanismes par lesquels les fibres alimentaires peuvent influencer la santé.

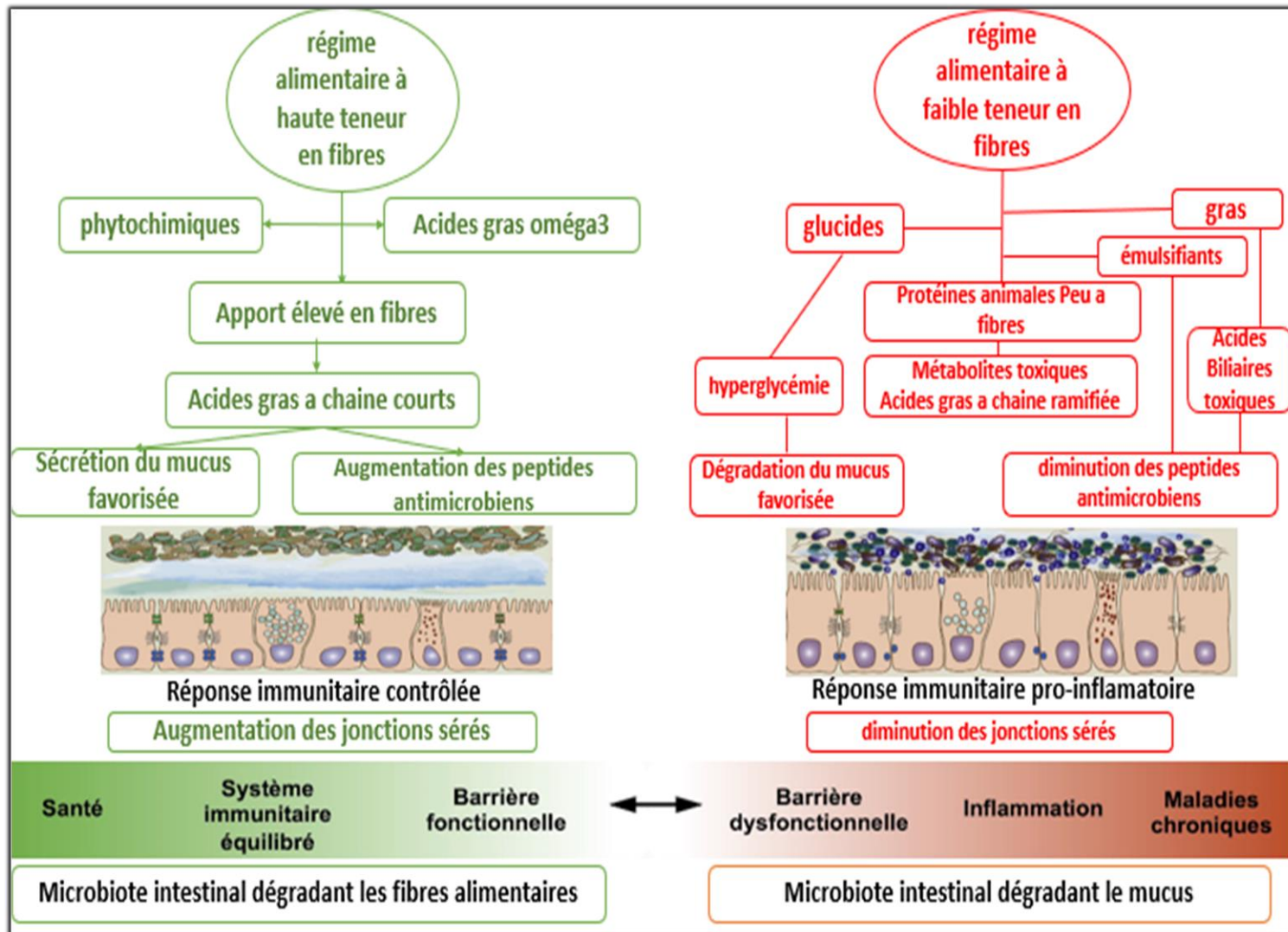


Figure 10 : Effet des fibres alimentaires sur la physiologie humaine (Makki et al., 2018)

Chapitre 3 : Matériel et Méthodes

1. Partie végétale :

1.1 Origine géographique des oranges de l'étude :

Les oranges ayant fait l'objet de l'étude, "*Citrus sinensis* variété Thomson Navel" ont été récoltées durant le mois de Décembre 2021 au niveau de la Ferme EPE BELAIDOUNI Med, spécialisée en agrumes et céréales, située au sud-ouest de la commune d'*El Fehoul*, Wilaya de Tlemcen (**Fig. 11**).

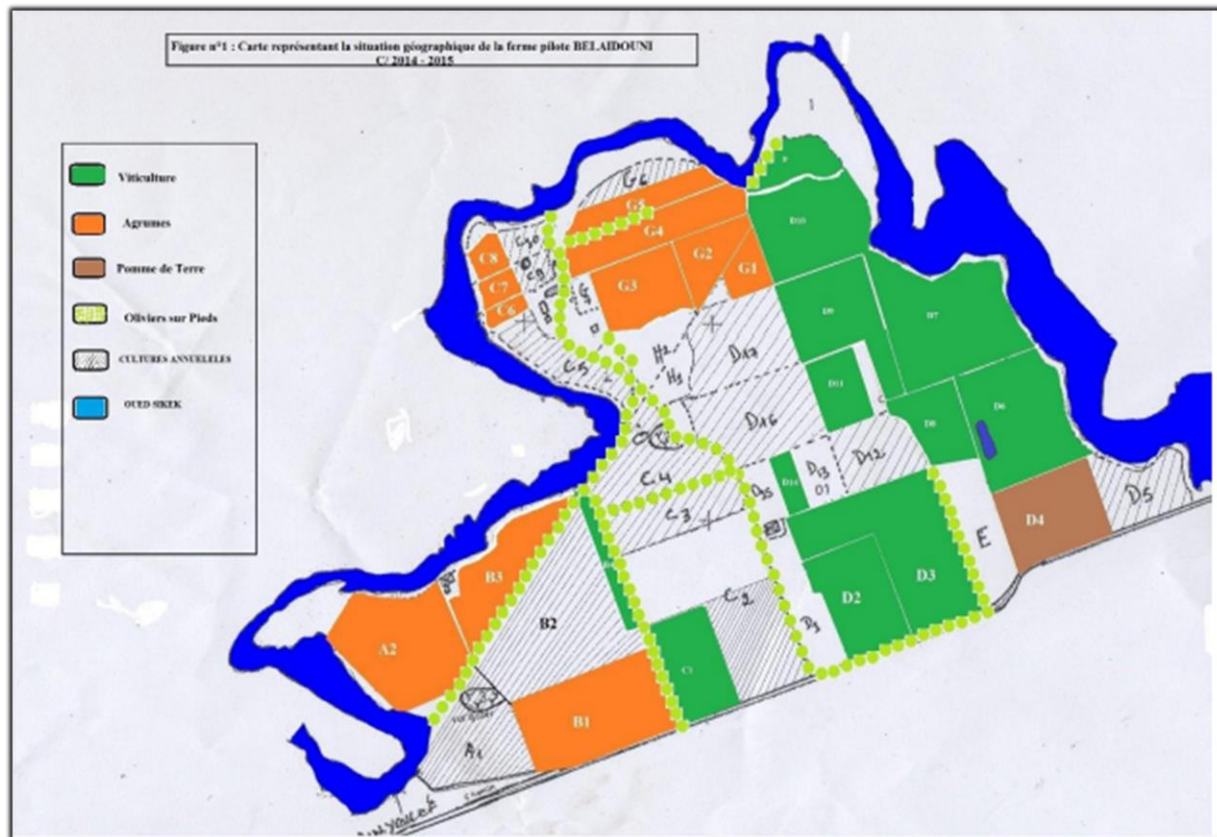


Figure 11 : Carte représentant l'occupation des sols de la Ferme EPE Belaidouni Md

L'orange douce est une variété d'agrumes appartenant au genre *Citrus* et à l'espèce *Citrus sinensis*. La classification systématique de l'orange douce (*Citrus sinensis* L.) est dans le **tableau 9**.

Tableau 9 : Systématique de l'orange douce (*Citrus sinensis* L.) (Peña et al., 2007)

Règne	<i>Végétale</i>
Ordre	<i>Géraniales</i>
Sous ordre	<i>Géraniineae</i>
Classe	<i>Dicotyledoneae</i>
Sous classe	<i>Archichalmydeae</i>
Division	<i>Embryophyta</i>
Sous-division	<i>Angiospermes</i>
Famille	<i>Rutaceae</i>
Sous-famille	<i>Aurantiodeae</i>
Tribu	<i>Citreae</i>
Sous-tribu	<i>Citrinae</i>
Genre	<i>Citrus</i>
Espèce	<i>Citrus sinensis</i>

1.2 Préparation des écorces d'orange :

Les oranges ont été soigneusement épluchées, les écorces séchées à l'air libre à l'abri de la lumière, puis broyées finement à l'aide d'un mixeur électrique dans le but d'obtenir des poudres fines. Ces dernières sont placées dans des flacons fermés, fumés, et conservés à température ambiante jusqu'au moment de l'extraction (**Fig. 12**).

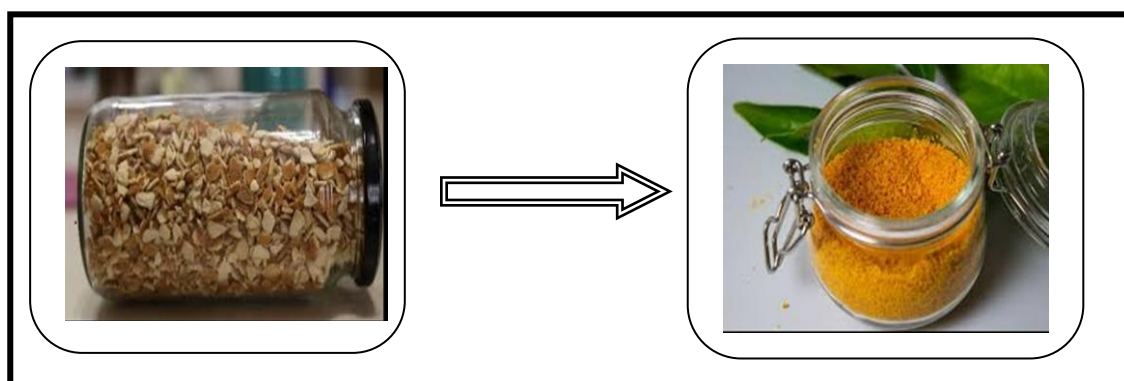


Figure 12 : écorce d'orange séché avant et après broyage

2. Dosage des fibres alimentaires (Méthode Weende) :

Les fibres alimentaires ont été dosées par la méthode de **Henneberg et Stohmann (1860)** en utilisant un extracteur des fibres brutes *FIWE-VELPSCIENTIFICA*. Le principe consiste à traiter l'échantillon à analyser successivement avec de l'acide sulfurique et de la potasse. L'hydrolyse acide/basique (à chaud) permet de solubiliser la quasi-totalité du contenu cellulaire à l'exception des fibres alimentaires et des sels minéraux. Le résidu obtenu est séché, incinéré puis pesé. Le protocole appliqué est comme suit :

- Sécher l'échantillon à l'étuve à 105°C jusqu'à un poids constant puis laisser refroidir dans un dessiccateur ; peser 1 g de l'échantillon broyé (poids P1) ;
- Après préchauffage (pour accélérer l'ébullition), ajouter de l'acide sulfurique à 1,25% jusqu'à atteindre 150 ml.
- Ajouter 3 à 5 gouttes de n-octanol (agent antimoussant) et faire bouillir pendant 30 min ;
- Relier au vide pour vidanger l'acide sulfurique ; puis laver 3 fois avec 30 ml d'eau distillée chaude.
- Ajouter 3 à 5 gouttes de n-octanol comme antimousse puis bouillir pendant 30 min.
- Filtrer et laver 3 fois avec 30 ml d'eau distillée chaude, se reliant chaque fois à l'air comprimé pour remuer le contenu du creuset ;
- Effectuer un dernier lavage avec de l'eau distillée froide pour refroidir les creusets ; puis 3 fois avec 25 ml d'acétone, remuer chaque fois par l'air comprimé ;
- Retirer les creusets et déterminer le poids sec après séchage dans l'étuve à 105°C pendant 1 heure jusqu'à poids constant ;
- Laisser refroidir dans un dessiccateur, ce poids P2 représente les fibres brutes plus la teneur en cendres par rapport au poids initial.
- Continuer l'incinération pendant 3 heures et répéter jusqu'à l'obtention d'un résidu blanc grisâtre ; après refroidissement dans un dessiccateur ce poids représente les cendres (P3) ; La différence de poids représente la teneur en fibres brutes sans cendres.
- Le pourcentage des fibres est déterminé par la formule suivante :

$$\text{Fibres (\%)} = (P2 - P3 / P1) \times 100$$

P₁ : poids de l'échantillon à analyser ; *P₂* : poids des creusets + l'échantillon avant l'incinération ; *P₃* : poids des creusets + l'échantillon après l'incinération.

3. Dosage de la cellulose :

La cellulose d'écorces d'orange a été extraites de *Citrus sinensis* par La méthode de moulage par compression (Arabeche et al., 2022).

Le résidu obtenu est séché, incinéré puis pesé. Le protocole appliqué est :

- Sécher 100g d'écorces d'orange dans un four pendant 24 heures à 60°C.
- Tremper les écorces d'orange dans l'eau salée pendant 24 heures.
- Laver les écorces à l'eau distillée et les sécher dans le four pendant 24 heures à 60°C.
- Placer les écorces dans une solution aqueuse de 120 g/L d'hydroxyde de sodium (NaOH) et les faire cuire à 100°C pendant 2 heures à pression atmosphérique.
- Laver abondamment les écorces à l'eau distillée et les sécher à 60°C.
- Les plonger dans une solution aqueuse de 40% d'hypochlorite de sodium (NaOCl) pendant 1 heure pour éliminer la lignine et la pectine.
- Rincer les fibres obtenues à l'eau distillée et les sécher à 60°C pendant 12 heures.
- Broyer les fibres afin d'éviter leur enroulement et leur éventuelle coupure, assurant ainsi l'uniformité des dimensions des renforts du matériau et préservant ses propriétés.

4. Dosage de la pectine :

Le protocole expérimental consiste à extraire la pectine des écorces d'orange de *Citrus sinensis* en utilisant une méthode simple et efficace (Fakayode et al., 2018).

Les étapes suivantes ont été suivies pour obtenir la pectine d'écorce d'orange :

- Dans un bécher ajoutez 1g de la poudre d'écorces.
- Ajouter le méthanol 100ml
- Agiter le mélange pendant 10min jusqu'à ce qu'une bouillie homogène se forme.
- Versez la bouillie homogène dans un bécher et placez-la dans un bain-marie bouillant.
- Faire bouillir le mélange pendant 10 minutes pour terminer l'extraction.
- Une fois le temps d'ébullition terminé, filtrez la solution chaude à travers un papier filtre.
- Prenez le filtrat dans un bécher propre et ajoutez 2 ml d'acide acétique à 10 % (pH de 2,6).
- Faire bouillir le filtrat pendant 10 minutes.
- Refroidir la solution et filtrer à nouveau la solution.

- Faire bouillir le méthanol du filtrat à l'aide d'un évaporateur rotatif jusqu'à ce qu'une concentration souhaitée de pectine d'écorce d'orange soit atteinte.
- Une fois la concentration de pectine atteinte, transférez la solution dans un récipient approprié et stockez la solution de pectine d'écorce d'orange dans un endroit frais et sec.

5. Expérimentation animale :

L'étude expérimentale est réalisée sur les rats blancs « *Rattus norvegicus* » variété Wistar, âgés de 4 semaines avec un poids corporel de 80 à 100g. L'élevage de ces animaux s'est déroulé au sein de l'animalerie du Département de Biologie, Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, Algérie. Les rats sont hébergés dans des cages et maintenus dans les conditions favorables d'élevage : température 25 - 30°C et à un taux d'humidité 60 - 70%, avec un rythme nyctéméral de 12 heures. Les rats avaient libre accès à l'eau et étaient nourris avec une alimentation commerciale équilibrée fournie par l'ONAB (Office National d'Aliment de Bétail, unité El ALF Ain-Fezza, Tlemcen).

5.1 Répartition des lots expérimentaux :

Les rats ont été répartis au hasard en 3 groupes de 4 rats chacun, chaque groupe a été nourri avec un régime spécifique pendant 12 semaines :

- Lot témoin (T) : sous régime standard.
- Lot obèse (O) : sous régime hypergras (supplémenté à 20 % d'huile de maïs).
- Lot obèse-écorces (OE) : sous régime hypergras supplémenté à 10% de poudre d'écorces d'orange.

Le poids corporel et la nourriture ingérée sont notés hebdomadairement.

5.2 Sacrifices et prélèvement sanguin :

Après 12 semaines d'expérimentation, les rats de chaque lot, sont anesthésiés par injection intra-péritonéale de solution de ketamine/midazolam (100 mg/kg ketamine / 5 mg /kg midazolam). Après sacrifices, le sang prélevé par ponction dans l'aorte abdominale, est collecté sur un tube EDTA et centrifugé à 3000 rpm pendant 15 minutes. Le sérum récupéré est conservé pour les dosages biochimiques du bilan glucido-lipidique.

6. Analyse des paramètres biochimiques :

6.1 Détermination de la glycémie :

Le glucose est dosé par une méthode enzymatique colorimétrique, le glucose oxydase catalyse l'oxydation du glucose en acide gluconique et en peroxyde d'hydrogène, ce dernier est détecté par un chromogène accepteur d'oxygène "Aminophénazone" en présence de phénol pour former ainsi des composés quinones et des molécules d'eau en présence d'enzyme peroxydase, l'intensité de la couleur est proportionnelle à la concentration en glucose dans l'échantillon et est mesuré à une longueur d'onde égale à 505 nm (**Kit SPINREACT**).

6.2 Détermination des paramètres lipidiques :

6.2.1 Séparation des lipoprotéines :

Les fractions lipoprotéiques plasmatiques sont obtenues par un procédé rapide et fiable de précipitation en trois étapes (**Burstein et al., 1989**). Les lipoprotéines de haute densité (HDL) sont obtenues dans le surnageant après une précipitation au dextran sulfate et chlorure de magnésium. Les lipoprotéines de basse densité (LDL) sont sélectivement précipitées avec des concentrations critiques de citrate trisodique et d'héparine. Après centrifugation des LDL, les lipoprotéines de très basse densité (VLDL) restent dans le surnageant et sont précipitées à leur tour par un réactif d'héparine, chlorure de magnésium et chlorure de lithium. Les culots contenant les fractions lipoprotéiques (LDL et VLDL) sont solubilisés dans une solution de chlorure de sodium et citrate disodique.

6.2.2 Dosage du cholestérol :

Le cholestérol total est dosé au niveau plasmatique et lipoprotéique (HDL, LDL et VLDL) par méthode enzymatique (Kits SIGMA Chemical Company, St Louis, MO, USA). La réaction consiste à libérer le cholestérol de la liaison ester par la cholestérol-estérase, et d'oxyder le cholestérol libre non estérifié par la cholestérol-oxydase. L'indicateur est une quinonéimine formée à partir de peroxyde d'hydrogène, de la 4-aminophénazone, sous l'action catalytique de la peroxydase. La concentration en quinonéimine colorée est mesurée à 510 nm, elle est proportionnelle à la concentration en cholestérol total.

6.2.3 Dosage des triglycérides

Les triglycérides sont dosés par méthode enzymatique (Kits SIGMA Chemical Company, St Louis, MO, USA), sur le plasma et au niveau des lipoprotéines (HDL, LDL et VLDL). Les triglycérides sont mesurés après hydrolyse enzymatique par des lipases en glycérol et acides gras libres. L'indicateur est une quinonéimine formée à partir de peroxyde d'hydrogène, de la 4-aminoantipyrine et du 4-chlorophénol sous l'action catalytique de la peroxydase. Le taux des

triglycérides est déterminé à une longueur d'ondes de 505 nm. La concentration en quinonéimine est proportionnelle à la concentration totale en triglycérides.

7. Analyses statistiques :

L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel SPSS version 26.0.0.0, les variables continues normalement distribuées sont présentées sous forme de moyenne \pm écart-type. La comparaison des variables normalement distribuées a été effectuée par le test ANOVA avec le test post hoc de Tukey pour les différences de sous-groupes. Les moyennes indiquées par des lettres différentes (a, b, c) sont significativement différentes ($P < 0,05$).

Chapitre 4 : Résultats et Interprétations

1. Teneurs des écorces d'oranges en fibres :

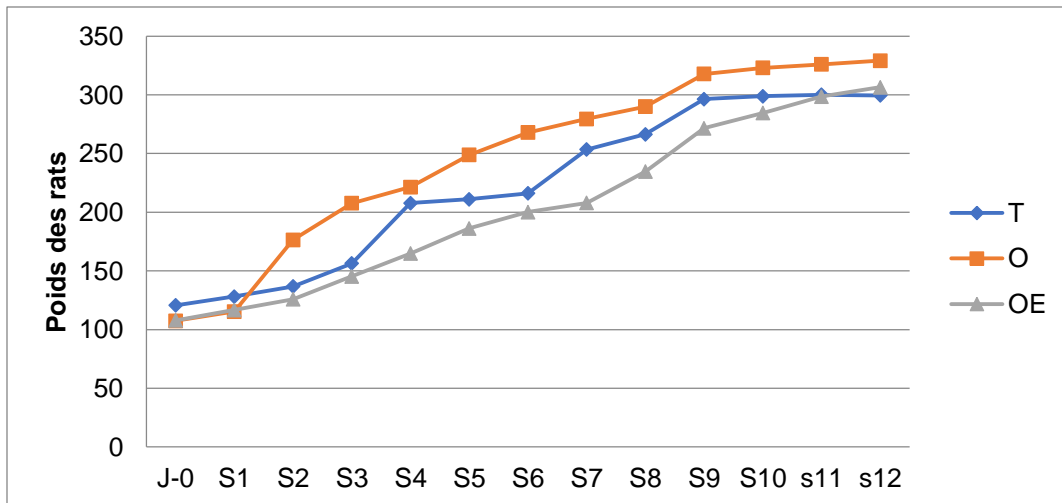
Les dosages des fibres totales ainsi que celui de la cellulose, pectine et cendres sont représentés dans le **tableau 10**.

Tableau 10 : Quantité des fibres dans 100g d'écorces d'orange

Fibres	Quantité dans 100g	Référence
Fibres totales	10,48 ± 0,68	41,64g (M'hiri, 2015)
Cellulose	8,04 ± 0,14	2g (Huang et al., 2021)
Pectine	1,50 ± 0,03	1,52g (Huang et al., 2021)
Cendres	2,1 ± 0,0001	2,45 g (Huang et al., 2021)

2. Courbe pondérale :

La courbe pondérale représente l'évolution du poids des rats au fil du temps pour les trois groupes : les rats témoins (T), les rats obèses (O) et les rats obèses sous régime d'écorce d'orange (OE). La courbe du groupe des rats OE, les rats sont initialement en situation d'obésité et sont soumis au régime alimentaire à base d'écorce d'orange. La courbe pondérale pour ce groupe nous permet de remarquer une perte de poids des rats obèses (**Fig. 13**).



T: rats témoins; O: Rats Obèses; OE: Rats obèse supplémentés en écorces d'orange.

Figure 13 : La courbe pondérale des rats expérimentaux (g)

3. Paramètres biochimiques plasmatiques :

3.1 Teneurs plasmatiques en glucose :

Les résultats ont révélé une augmentation significative de la glycémie chez les rats obèses comparés à leurs témoins. En revanche, nous avons noté une diminution significative de la glycémie chez les rats obèses sous régime d'écorce d'orange comparés aux rats obèses (**Fig. 14**).

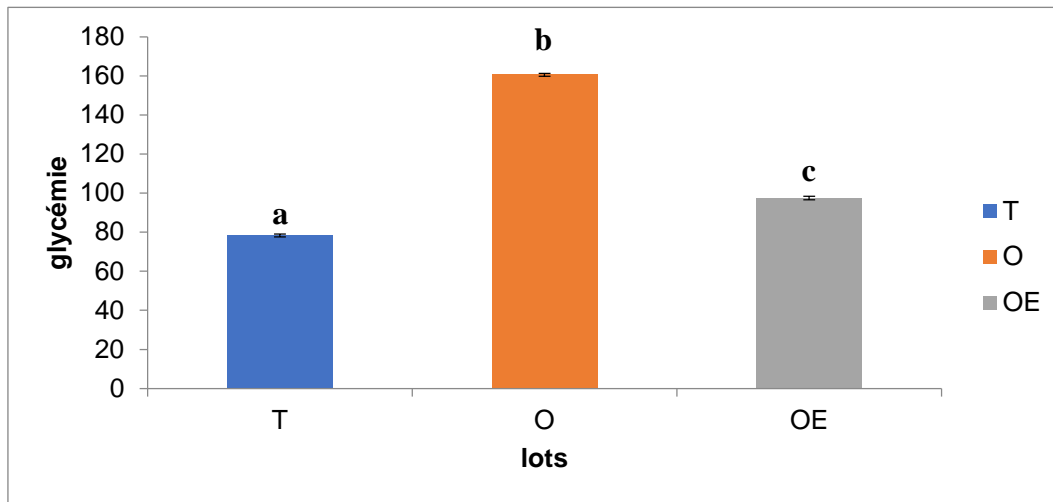


Figure 14 : Glycémie chez les rats expérimentaux (mg/dL)

T: rats témoins; O: Rats Obèses; OE: Rats obèse supplémentés en écorces d'orange.

L'analyse des données a été réalisée en utilisant le test ANOVA pour comparer les différents groupes de rats. Un test post hoc a été effectué pour identifier les différences significatives entre les groupes. Les lettres a, b et c indiquent les différences significatives entre les groupes, avec une valeur de $P < 0,05$.

3.2 Teneurs plasmatiques et lipoprotéiques en cholestérol :

Les taux du cholestérol, VLDL-cholestérol et LDL-cholestérol sont diminués de manière significative chez les rats sous régime d'écorce par rapport à leurs témoins.

Par contre, au niveau des HDL-cholestérol, les valeurs sont augmentées significativement chez les rats sous régime d'écorce par rapport à leurs témoins (**Fig. 15**).

3.3 Teneurs plasmatiques et lipoprotéiques en triglycérides :

Les taux des triglycérides, VLDL-TG et LDL-TG sont diminués de manière significative chez les rats sous régime d'écorce par rapport à leurs témoins. Cependant, le taux des valeurs du HDL-TG est augmenté significativement chez les rats sous régime d'écorce comparés aux rats obèses sans écorce d'orange (**Fig. 16**).

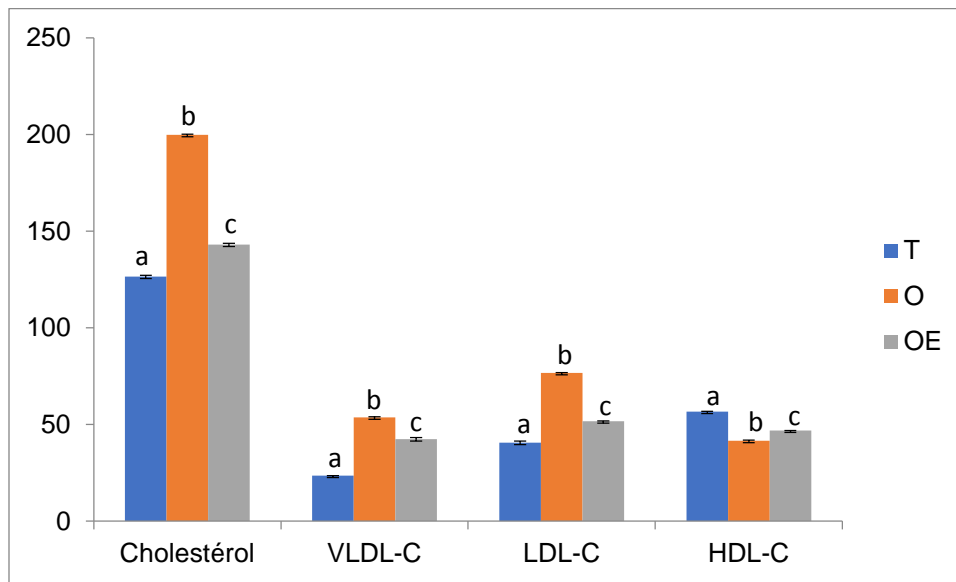


Figure 15 : Teneurs plasmatiques et lipoprotéiques en cholestérol (mg/dL)

T: rats témoins; O: Rats Obèses; OE: Rats obèse supplémentés en écorces d'orange.

L'analyse des données a été réalisée en utilisant le test ANOVA pour comparer les différents groupes de rats. Un test post hoc a été effectué pour identifier les différences significatives entre les groupes. Les lettres a, b et c indiquent les différences significatives entre les groupes, avec une valeur de $P < 0,05$.

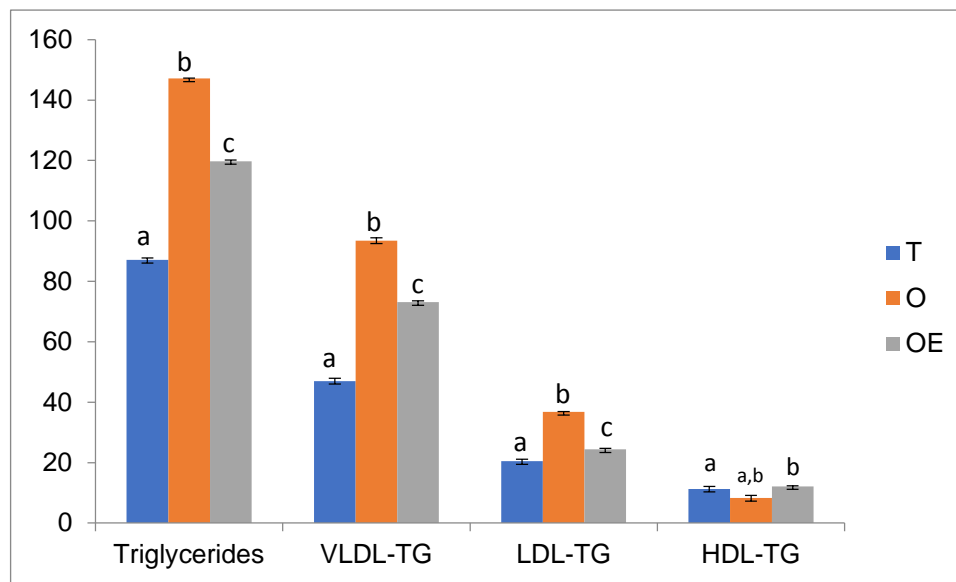


Figure 16 : Teneurs plasmatiques et lipoprotéiques en triglycérides (mg/dL)

T: rats témoins; O: Rats Obèses; OE: Rats obèse supplémentés en écorces d'orange.

L'analyse des données a été réalisée en utilisant le test ANOVA pour comparer les différents groupes de rats. Un test post hoc a été effectué pour identifier les différences significatives entre les groupes. Les lettres a, b et c indiquent les différences significatives entre les groupes, avec une valeur de $P < 0,05$.

Discussion

Notre étude a porté sur un échantillon de 12 rats rendus obèses répartis en trois groupes. L'objectif était de mettre en évidence l'importance des écorces d'orange et de leur composition, en particulier les fibres, dans la prévention et la lutte contre l'obésité. Nous avons également étudié les effets de l'ajout de ces écorces d'orange dans l'alimentation des rats sur leur santé globale. Les résultats de notre étude ont montré que l'ajout de fibres issues des écorces d'orange dans l'alimentation des rats a eu des effets bénéfiques sur leur poids corporel, leur profil lipidique et leur profil glycémique.

La première partie de ce travail aborde la présence et la quantité de fibres totales provenant des écorces d'orange mettent en évidence leur importance en tant que source significative de fibres alimentaires et mieux appréhender l'incidence de ces fibres sur l'obésité et la santé.

Les résultats concernant la courbe pondérale nous permettent d'évaluer l'efficacité du régime sur la perte de poids des rats obèses.

D'autres études ont confirmé que les fibres alimentaires peuvent bloquer l'absorption des graisses et réduire l'apport énergétique en régulant l'apport alimentaire, la digestion, l'absorption et le métabolisme. Les fibres alimentaires ont une structure d'acide galacturonique, ce qui leur confère une haute viscosité. De plus, les fibres alimentaires ont une bonne capacité de rétention d'eau, d'absorption d'huile et de complexation avec les acides biliaires, ce qui peut renforcer l'adsorption des graisses (**He et al., 2022**).

La deuxième partie de ce travail aborde la quantification des fibres alimentaires, solubles, telles que la pectine, et des fibres insolubles, comme la cellulose, présentes dans les écorces d'orange en mentionnant leurs différents effets sur la santé.

Les résultats de l'étude ont démontré que le citrus sinensis renferme une quantité importante de fibres alimentaires, principalement de cellulose et pectine.

Les taux de fibres varient en fonction des différentes variétés d'agrumes. Néanmoins, il convient de noter que les écorces d'orange affichent des niveaux de fibres relativement inférieurs par rapport à d'autres variétés telles que la mandarine et le citron (**M'hiri, 2015**).

Une étude a montré l'impact du retard de vidange gastrique sur la sensation de satiété et ont constaté une corrélation entre une vidange gastrique plus lente et une sensation de satiété. Alors que la solubilité des fibres était auparavant considérée comme la variable la plus importante influençant la satiété, il est maintenant estimé que le changement de viscosité des

liquides présents dans le tractus digestif est plus pertinent. De plus, l'augmentation des acides gras à chaîne courte résultant de la fermentation des fibres insolubles par la microflore intestinale est un autre mécanisme par lequel la satiété peut être induite (**Warrilow et al., 2019**).

Une autre étude a révélé que l'ajout d'une fibre liquide formant un gel tels que la pectine qui entraînait un retard de la vidange gastrique avait tendance à réduire la faim, augmenter la sensation de satiété et réduire la quantité de nourriture que les sujets voulaient manger, mais avait un effet moindre sur le désir de manger (**Khubber et al., 2023**).

Une absorption plus lente des nutriments se produit de deux manières : par obstruction physique des nutriments dans le tractus digestif par les fibres insoluble comme la cellulose, et également par une augmentation de la viscosité du contenu digestif de l'intestin grêle due à la présence de fibres solubles parmi celles-ci la pectine (**Fakayode et al., 2018**). Sachant que les deux fibres : cellulose et pectine faient partie de la composition d'écorces d'orange avec d'autres fibres alimentaires (**Suri et al., 2022**).

Dans la troisième partie de cette étude, une analyse approfondie des paramètres biochimiques est réalisée afin de mieux comprendre l'impact des fibres alimentaires sur les maladies métaboliques, en mettant particulièrement l'accent sur le métabolisme lipoprotéique.

Selon les résultats de l'étude, une diminution significative du glucose plasmatique a été observée chez les rats obèses soumis à un régime d'écorce d'orange par rapport aux rats obèses n'ayant pas suivi ce régime. Cette constatation suggère que le régime d'écorce d'orange a un effet positif sur la réduction du glucose plasmatique chez les rats obèses.

Ces résultats indiquent que l'incorporation de l'écorce d'orange dans l'alimentation des rats obèses a conduit à une amélioration de leur profil glycémique.

Cette diminution significative du glucose plasmatique peut être attribuée aux composés présents dans l'écorce d'orange, tels que les fibres alimentaires, les antioxydants et autres composés bioactifs qui ont des effets bénéfiques sur le métabolisme glucidique (**M'hiri, 2015**).

Ces observations soulignent l'importance potentielle de l'écorce d'orange dans la gestion de la glycémie chez les individus obèses. Cependant, il est important de mener davantage de recherches pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents et pour évaluer les effets à plus long terme de ce régime sur la santé métabolique.

Le contrôle glycémique est un processus crucial pour maintenir des niveaux de glucose sanguin équilibrés dans le corps. Une alimentation riche en fibres souvent associée à une meilleure régulation de la glycémie (**Ojo et al., 2020**).

Les fibres solubles, comme la pectine, forment un gel visqueux lorsqu'elles sont en contact avec l'eau, ce qui ralentit la digestion des glucides et l'absorption du glucose dans le sang (**Khubber et al., 2023**), en formant un revêtement autour des particules alimentaires, ce qui retarde leur passage à travers le système digestif. Cela permet une libération plus lente du glucose dans le sang, ce qui contribue à éviter les pics de glycémie après les repas.

En modulant l'activité de la flore intestinale. Des études ont montré que la pectine peut favoriser la croissance de bactéries bénéfiques dans l'intestin, telles que les bifidobactéries et les lactobacilles, qui sont impliquées dans la régulation de la glycémie. Ces bactéries peuvent fermenter la pectine et produire des AGCC, tels que l'acétate, le propionate et le butyrate, qui ont été associés à des effets bénéfiques sur la régulation de la glycémie.

Il convient de noter que le contrôle glycémique est un processus complexe impliquant de nombreux facteurs, tels que l'alimentation globale, l'activité physique, les hormones et d'autres composants de l'alimentation. Bien que la pectine puisse jouer un rôle bénéfique dans la régulation de la glycémie, il est important d'adopter une approche holistique pour maintenir des niveaux de glucose sanguin stables, en combinant une alimentation équilibrée, riche en fibres et en nutriments essentiels, avec un mode de vie actif (**Guo et al., 2023**).

Les résultats de cette étude montrent que le régime d'écorce d'orange est associé à une diminution significative des triglycérides, VLDL-triglycérides et LDL-triglycérides, ainsi qu'à une augmentation significative du HDL-triglycérides chez les rats obèses.

Cela suggère que l'écorce d'orange peut jouer un rôle bénéfique dans la régulation des lipides sanguins et la santé cardiovasculaire (**Wang et al., 2023**).

Cela peut être dû au fait que les fibres alimentaires peuvent fournir un plus grand nombre de substrats digestifs aux microbes intestinaux, favorisant ainsi la conversion des fibres alimentaires en acides gras à chaîne courte. Nous rappelons ici que l'accumulation d'acides gras à chaîne courte est l'un des mécanismes qui permet de réduire les niveaux de cholestérol total (CT), de triglycérides (TG) et de LDL-cholestérol (LDL-C), et d'augmenter les niveaux de HDL-cholestérol (HDL-C) (**Gong et al., 2023**).

Les niveaux de cholestérol total, de triglycérides, de LDL-c et de VLDL-c dans le sérum ont été significativement augmentés chez les animaux traités par le bisphénol A, tandis que le HDL-c a été significativement réduit par rapport au groupe témoin normal. Cependant, chez le groupe traité par les écorces d'orange, ces niveaux altérés ont été rétablis. Ces changements dans

Le profil lipidique s'explique par la surexpression du gène SREBF1 responsable de la lipogenèse de novo des graisses dans le foie. Les résultats obtenus dans une étude confirment que la supplémentation alimentaire en poudre d'écorce d'orange supprime significativement l'induction de l'expression du gène SREBF1, ce qui réduit à la fois la synthèse de cholestérol total et de triglycérides. De plus, la teneur en pectine des écorces d'orange augmente la réduction du cholestérol total et des triglycérides, ce qui entraîne une amélioration du profil lipidique des groupes supplémentés en écorces d'orange de manière dose-dépendante (**Abd El-Gwaad, et al., 2020**).

Conclusion

La valorisation des sous-produits de l'industrie agroalimentaire, tels que les écorces d'agrumes, représente une opportunité prometteuse pour divers secteurs économiques. En intégrant ces sous-produits dans des applications alimentaires, cosmétiques ou énergétiques, nous pouvons réduire le gaspillage alimentaire, générer de nouvelles sources de revenus et contribuer à un développement durable de l'industrie. Cependant, cela nécessite une collaboration étroite entre les acteurs de l'industrie agroalimentaire, ainsi que des investissements dans des technologies efficaces de transformation des sous-produits. En exploitant les avantages économiques, environnementaux et sociaux de la valorisation des sous-produits, nous pouvons créer une économie circulaire plus durable et préserver nos ressources naturelles. Ainsi, en combinant ces efforts avec une alimentation équilibrée et une activité physique régulière, nous pourrions mieux lutter contre l'obésité et promouvoir un mode de vie sain pour les générations futures.

Les fibres alimentaires jouent un rôle crucial dans la santé gastro-intestinale et métabolique, en favorisant la croissance de bactéries bénéfiques, en améliorant le transit intestinal, en régulant la glycémie et en réduisant le risque de maladies chroniques. Cette étude met en évidence l'importance des fibres alimentaires dans la promotion de la santé intestinale et suggère que l'utilisation des écorces d'orange riches en fibres, souvent considérées comme des déchets alimentaires, peut-être une stratégie efficace pour augmenter notre apport en fibres. En valorisant ces sous-produits, nous contribuons à la réduction du gaspillage alimentaire tout en tirant pleinement parti des avantages des fibres pour notre bien-être. Il est donc essentiel de promouvoir une alimentation riche en fibres, en incluant une variété de sources telles que les fruits, les légumes, les céréales complètes et les écorces d'orange, pour prévenir les maladies chroniques et favoriser une meilleure santé globale.

La production d'agrumes en Algérie est d'une importance considérable, avec une diversité de variétés cultivées dans différentes régions du pays. Les chiffres mentionnés démontrent l'ampleur de cette activité agricole, avec des superficies dédiées à la culture d'agrumes dans différentes wilayas. Cependant, malgré la grande surface consacrée à la culture des agrumes, la production destinée à la transformation reste relativement faible, représentant seulement une petite fraction de la production totale. La majorité des agrumes produits en Algérie est destinée à la consommation fraîche, ce qui indique un potentiel inexploité en termes de valorisation de ces fruits par le biais de la transformation.

Notre travail de recherche vise à apporter une contribution significative à la valorisation des sous-produits de l'industrie agro-alimentaire en évaluant les effets des fibres alimentaires présentes dans les écorces d'orange sur les déséquilibres métaboliques associés à l'obésité. Nous espérons que nos résultats aideront à développer des stratégies efficaces pour prévenir et traiter l'obésité, tout en promouvant une utilisation responsable des ressources alimentaires et en favorisant un mode de vie plus sain.

Références bibliographiques

A

Abd El-Gwaad, H. M. S., Abd El-Wahab, H. M., Mohamed, E. A. K., Sharaf, E. H. A. A., & Osman, A. A. H. M. (2020). Modulatory effect of dry orange (*Citrus sinensis*) peel powder on bisphenol A-induced hepatic and splenic toxicity in rats. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, *81*(1), 1-9.

Adam, C. L., Gratz, S. W., Peinado, D. I., Thomson, L. M., Garden, K. E., Williams, P. A., ... & Ross, A. W. (2016). Effects of dietary fibre (pectin) and/or increased protein (casein or pea) on satiety, body weight, adiposity and caecal fermentation in high fat diet-induced obese rats. *PloS one*, *11*(5), e0155871.

APS. (2021). Algérie (Blida) - Légère baisse de la production d'agrumes. <https://www.vitamedz.com/fr/Algerie/algerie-blida-legere-baisse-de-7130463-Articles-0-543-1.html>.

Arabeche, K., Abdelmalek, F., Delbreilh, L., Zair, L., & Berrayah, A. (2022). Physical and rheological properties of biodegradable poly (butylene succinate)/Alfa fiber composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, *35*(10), 1709-1727.

B

Bensalah, M., Bouanane, S., Benyagoub, O., Merzouk, H., & Fatima, Z. B. A. (2018). Effects of highly-pure-enriched-cellulose diet on digestibility, lipid metabolism and redox status in obese offspring of streptozotocin-induced diabetic rats. *Experimental and Clinical Endocrinology & Diabetes*, *126*(02), 102-112.

Berer, K., Martínez, I., Walker, A., Kunkel, B., Schmitt-Kopplin, P., Walter, J., & Krishnamoorthy, G. (2018). Dietary non-fermentable fiber prevents autoimmune neurological disease by changing gut metabolic and immune status. *Scientific reports*, *8*(1), 10431.

Berraf-Tebbal, A., Mahamedi, A. E., Aigoun-Mouhous, W., Špetík, M., Čechová, J., Pokluda, R., ... & Alves, A. (2020). *Lasiodiplodia mitidjana* sp. nov. and other Botryosphaeriaceae species causing branch canker and dieback of *Citrus sinensis* in Algeria. *PloS one*, *15*(5), e0232448.

Bhat, A. H., Dasan, Y. K., Khan, I., Soleimani, H., & Usmani, A. (2017). Application of nanocrystalline cellulose: Processing and biomedical applications. In *Cellulose-reinforced nanofibre composites* (pp. 215-240). Woodhead Publishing.

Boumediene Khaled, (2022). Algérie (Tlemcen) - L'oranger et l'olivier font recette.

<https://www.vitamedz.com/fr/Algerie/algerie-tlemcen-l-oranger-et-l-olivier-7145899- Articles-0-18-1.html>.

Burstein, M., Fine, A., Atger, V. R., Wirbel, E., & Girard-Globa, A. (1989). Rapid method for the isolation of two purified subfractions of high-density lipoproteins by differential dextran sulfate-magnesium chloride precipitation. *Biochimie*, 71(6), 741-746.

C

Caligiuri, V., Tedeschi, G., Palei, M., Miscuglio, M., Martin-Garcia, B., Guzman-Puyol, S., ... & Heredia-Guerrero, J. A. (2020). Biodegradable and insoluble cellulose photonic crystals and metasurfaces. *ACS nano*, 14(8), 9502-9511.

Celus, M., Salvia-Trujillo, L., Kyomugasho, C., Maes, I., Van Loey, A. M., Grauwet, T., & Hendrickx, M. E. (2018). Structurally modified pectin for targeted lipid antioxidant capacity in linseed/sunflower oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, 241, 86-96.

Chan, S. Y., Choo, W. S., Young, D. J., & Loh, X. J. (2017). Pectin as a rheology modifier: Origin, structure, commercial production and rheology. *Carbohydrate polymers*, 161, 118-139.

Chang, S., Cui, X., Guo, M., Tian, Y., Xu, W., Huang, K., & Zhang, Y. (2017). Insoluble dietary fiber from pear pomace can prevent high-fat diet-induced obesity in rats mainly by improving the structure of the gut microbiota.

Chen, D. Y., Sawamura, T., Dixon, R. A., Sánchez-Quesada, J. L., & Chen, C. H. (2021). Autoimmune rheumatic diseases: An update on the role of atherogenic electronegative LDL and potential therapeutic strategies. *Journal of Clinical Medicine*, 10(9), 1992.

Chen, J., Liu, W., Liu, C. M., Li, T., Liang, R. H., & Luo, S. J. (2015). Pectin modifications: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(12), 1684-1698.

Cieślińska-Świder, J., Furmanek, M. P., & Błaszczyk, J. W. (2017). The influence of adipose tissue location on postural control. *Journal of Biomechanics*, 60, 162-169.

E

Elks, C. E., Den Hoed, M., Zhao, J. H., Sharp, S. J., Wareham, N. J., Loos, R. J., & Ong, K. K. (2012). Variability in the heritability of body mass index: a systematic review and meta-regression. *Frontiers in endocrinology*, 3, 29.

Emran, T. B., Islam, F., Mitra, S., Paul, S., Nath, N., Khan, Z., ... & Guiné, R. P. (2022). Pectin: A Bioactive Food Polysaccharide with Cancer Preventive Potential. *Molecules*, 27(21), 7405.

E

Fakayode, O. A., & Abobi, K. E. (2018). Optimization of oil and pectin extraction from orange (*Citrus sinensis*) peels: a response surface approach. *Journal of Analytical Science and Technology*, 9(1), 1-16.

FAO. (2021). Citrus fruit fresh and processed, Statistica bulletin 2020.

G

GBD 2015 Obesity Collaborators. (2017). Health effects of overweight and obesity in 195 countries over 25 years. *New England journal of medicine*, 377(1), 13-27.

Gill, S. K., Rossi, M., Bajka, B., & Whelan, K. (2021). Dietary fibre in gastrointestinal health and disease. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(2), 101-116.

Gong, T., Zhou, Y., Zhang, L., Wang, H., Zhang, M., & Liu, X. (2023). Capsaicin combined with dietary fiber prevents high-fat diet associated aberrant lipid metabolism by improving the structure of intestinal flora. *Food Science & Nutrition*, 11(1), 114-125.

Gopinath, V., Kamath, S. M., Priyadarshini, S., Chik, Z., Alarfaj, A. A., & Hirad, A. H. (2022). Multifunctional applications of natural polysaccharide starch and cellulose: An update on recent advances. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 146, 112492.

Guo, Q., Hou, X., Cui, Q., Li, S., Shen, G., Luo, Q., ... & Zhang, Z. (2023). Pectin mediates the mechanism of host blood glucose regulation through intestinal flora. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-23.

H

Hartikainen, H., Mogensen, L., Svanes, E., & Franke, U. (2018). Food waste quantification in primary production—the Nordic countries as a case study. *Waste Management*, 71, 502-511.

Hayashi, A., Gillen, A. C., & Lott, J. R. (2000). Effects of daily oral administration of quercetin chalcone and modified citrus pectin on implanted colon-25 tumor growth in Balb-c mice. *Alternative Medicine Review*, 5(6), 546-552.

He, Y., Wang, B., Wen, L., Wang, F., Yu, H., Chen, D., ... & Zhang, C. (2022). Effects of dietary fiber on human health. *Food Science and Human Wellness*, 11(1), 1-10.

Heinze, T. (2016). Cellulose: structure and properties. *Cellulose chemistry and properties: fibers, nanocelluloses and advanced materials*, 1-52.

Heitman, D. W., Hardman, W. E., & Cameron, I. L. (1992). Dietary supplementation with pectin and guar gum on 1, 2-dimethylhydrazine-induced colon carcinogenesis in rats. *Carcinogenesis*, *13*(5), 815-818.

Holscher, H. D. (2017). Dietary fiber and prebiotics and the gastrointestinal microbiota. *Gut microbes*, *8*(2), 172-184.

Houghton, D., Wilcox, M. D., Chater, P. I., Brownlee, I. A., Seal, C. J., & Pearson, J. P. (2015). Biological activity of alginate and its effect on pancreatic lipase inhibition as a potential treatment for obesity. *Food Hydrocolloids*, *49*, 18-24.

Huang, J. Y., Liao, J. S., Qi, J. R., Jiang, W. X., & Yang, X. Q. (2021). Structural and physicochemical properties of pectin-rich dietary fiber prepared from citrus peel. *Food Hydrocolloids*, *110*, 106140.

Hurtado, P. L., Rouilly, A., Vandenbossche, V., & Raynaud, C. (2016). A review on the properties of cellulose fibre insulation. *Building and environment*, *96*, 170-177.

J

Jana, U. K., Kango, N., & Pletschke, B. (2021). Hemicellulose-derived oligosaccharides: Emerging prebiotics in disease alleviation. *Frontiers in Nutrition*, *8*, 670817.

K

Kadyan, S., Park, G., Singh, P., Arjmandi, B., & Nagpal, R. (2023). Prebiotic mechanisms of resistant starches from dietary beans and pulses on gut microbiome and metabolic health in a humanized murine model of aging. *Frontiers in Nutrition*, *10*.

Kapoor, S., & Dharmesh, S. M. (2017). Pectic Oligosaccharide from tomato exhibiting anticancer potential on a gastric cancer cell line: Structure-function relationship. *Carbohydrate Polymers*, *160*, 52-61.

Khubber, S., Kazemi, M., Amiri Samani, S., Lorenzo, J. M., Simal-Gandara, J., & Barba, F. J. (2023). Structural-functional variability in pectin and effect of innovative extraction methods: An integrated analysis for tailored applications. *Food Reviews International*, *39*(4), 2352-2377.

King, D. E. (2005). Dietary fiber, inflammation, and cardiovascular disease. *Molecular nutrition & food research*, *49*(6), 594-600.

L

Li, Q., Chen, C., Liu, C., Sun, W., Liu, X., Ci, Y., & Song, Y. (2021). The effects of cellulose on AOM/DSS-Treated C57BL/6 colorectal cancer mice by changing intestinal flora composition and inflammatory factors. *Nutrition and Cancer*, 73(3), 502-513.

Liao, W., Elaissari, A., Ghnimi, S., Dumas, E., & Gharsallaoui, A. (2022). Effect of pectin on the properties of nanoemulsions stabilized by sodium caseinate at neutral pH. *International Journal of Biological Macromolecules*, 209, 1858-1866.

Lin, L., Wang, P., Du, Z., Wang, W., Cong, Q., Zheng, C., ... & Shao, C. (2016). Structural elucidation of a pectin from flowers of *Lonicera japonica* and its antipancreatic cancer activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 88, 130-137.

M

M'Hiri, N. (2015). Étude comparative de l'effet des méthodes d'extraction sur les phénols et l'activité antioxydante des extraits des écorces de l'orange « Maltaise demi sanguine » et exploration de l'effet inhibiteur de la corrosion de l'acier au carbone. *Tunis : INAT*.

Ma, W., Nguyen, L. H., Song, M., Wang, D. D., Franzosa, E. A., Cao, Y., ... & Chan, A. T. (2021). Dietary fiber intake, the gut microbiome, and chronic systemic inflammation in a cohort of adult men. *Genome medicine*, 13(1), 102.

Mahato, N., Sharma, K., Sinha, M., & Cho, M. H. (2018). Citrus waste derived nutra-/pharmaceuticals for health benefits: Current trends and future perspectives. *Journal of Functional Foods*, 40, 307-316.

Mak, K. K., Tan, J. J., Marappan, P., Balijepalli, M. K., Choudhury, H., Ramamurthy, S., & Pichika, M. R. (2018). Galangin's potential as a functional food ingredient. *Journal of Functional Foods*, 46, 490-503.

Makki, K., Deehan, E. C., Walter, J., & Bäckhed, F. (2018). The impact of dietary fiber on gut microbiota in host health and disease. *Cell host & microbe*, 23(6), 705-715.

Mas, M., Brindisi, M. C., & Chambaron, S. (2021). Facteurs socio-économiques, psychologiques et environnementaux de l'obésité : vers une meilleure compréhension pour de nouvelles perspectives d'action. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 56(4), 208-219.

Michael-Igolima, U., Abbey, S. J., Ifelebuegu, A. O., & Eyo, E. U. (2023). Modified Orange Peel Waste as a Sustainable Material for Adsorption of Contaminants. *Materials*, 16(3), 1092.

N

Nagao, K., Yamano, N., Shirouchi, B., Inoue, N., Murakami, S., Sasaki, T., & Yanagita, T. (2010). Effects of citrus auraptene (7-geranyloxy coumarin) on hepatic lipid metabolism in vitro and in vivo. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(16), 9028-9032.

Nakajima, H., Nakanishi, N., Miyoshi, T., Okamura, T., Hashimoto, Y., Senmaru, T., ... & Fukui, M. (2022). Inulin reduces visceral adipose tissue mass and improves glucose tolerance through altering gut metabolites. *Nutrition & Metabolism*, 19(1), 1-10.

O

Ojo, O., Feng, Q. Q., Ojo, O. O., & Wang, X. H. (2020). The role of dietary fibre in modulating gut microbiota dysbiosis in patients with type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Nutrients*, 12(11), 3239.

Organisation mondiale de la santé (OMS), 2016. Obésité de l'enfant : faits et chiffres.

P

Peña, L., Cervera, M., Fagoaga, C., Romero, J., Juarez, J., Pina, J. A., & Navarro, L. (2007). I. 2 Citrus. Edited by T. Nagata (Managing Editor) H. Lörz, 35.

Pérez, S., & Mazeau, K. (2005). Conformations, structures, and morphologies of celluloses. *Polysaccharides: Structural diversity and functional versatility*, 2.

R

Rajulapati, V., Dhillon, A., & Goyal, A. (2021). Enzymatically produced pectic-oligosaccharides from fruit waste of *Citrus reticulata* (mandarin) peels display cytotoxicity against colon cancer cells. *Bioresource Technology Reports*, 15, 100740.

S

Salehi, F., Behboudi, H., Kavousi, G., & Ardestani, S. K. (2018). Oxidative DNA damage induced by ROS-modulating agents with the ability to target DNA: A comparison of the biological characteristics of citrus pectin and apple pectin. *Scientific reports*, 8(1), 1-16.

Suri, S., Singh, A., & Nema, P. K. (2022). Current applications of citrus fruit processing waste: A scientific outlook. *Applied Food Research*, 100050.

Suthar, P., Kehinde, B. A., Rafiq, S., Ansari, N., Singh, B., & Kumar, H. (2023). Orange Wastes and By-Products: Chemistry, Processing, and Utilization. In *Handbook of Fruit Wastes and By-Products* (pp. 87-98). CRC Press

T

Tejada-Ortigoza, V., Garcia-Amezquita, L. E., Serna-Saldívar, S. O., Martín-Belloso, O., & Welti-Chanes, J. (2018). High hydrostatic pressure and mild heat treatments for the modification of orange peel dietary fiber: Effects on hygroscopic properties and functionality. *Food and bioprocess technology*, *11*, 110-121.

TILLY, G. (2010). Pectines.

Turner, N. D., & Lupton, J. R. (2021). Dietary Fiber. *Advances in Nutrition*, *12*(6), 2553-2555.

W

Wang, B., Yu, H., He, Y., Wen, L., Gu, J., Wang, X., ... & Wang, H. (2021). Effect of soybean insoluble dietary fiber on prevention of obesity in high-fat diet fed mice via regulation of the gut microbiota. *Food & Function*, *12*(17), 7923-7937.

Wang, Y., Zheng, Y., Liu, Y., Shan, G., Zhang, B., Cai, Q., ... & Qu, Y. (2023). The lipid-lowering effects of fenugreek gum, hawthorn pectin, and burdock inulin. *Frontiers in Nutrition*, *10*.

Warrilow, A., Mellor, D., McKune, A., & Pumpa, K. (2019). Dietary fat, fibre, satiation, and satiety—a systematic review of acute studies. *European journal of clinical nutrition*, *73*(3), 333-344.

Weickert, M. O., & Pfeiffer, A. F. (2018). Impact of dietary fiber consumption on insulin resistance and the prevention of type 2 diabetes. *The Journal of nutrition*, *148*(1), 7-12.

Z

Zdunek, A., Pieczywek, P. M., & Cybulska, J. (2021). The primary, secondary, and structures of higher levels of pectin polysaccharides. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *20*(1), 1101-1117.

Zhao, J., Zhu, Y., Du, M., Wang, Y., Vallis, J., Parfrey, P. S., ... & Wang, P. P. (2022). Association between Dietary Fiber Intake and Mortality among Colorectal Cancer Survivors: Results from the Newfoundland Familial Colorectal Cancer Cohort Study and a Meta-Analysis of Prospective Studies. *Cancers*, *14*(15), 3801.

Zhao, Y., Bi, J., Yi, J., Peng, J., & Ma, Q. (2022). Dose-dependent effects of apple pectin on alleviating high fat-induced obesity modulated by gut microbiota and SCFAs. *Food Science and Human Wellness*, *11*(1), 143-154.

Zugenmaier, P. (2001). Conformation and packing of various crystalline cellulose fibers. *Progress in polymer science*, *26*(9), 1341-1417.

Résumé

Cette étude rentre dans le cadre de la valorisation des sous-produits industriels agro-alimentaires. L'objectif est d'évaluer l'impact d'un régime enrichi en écorces d'orange, riches en fibres alimentaires, sur les bilans glucido-lipidique et lipoprotéiques au cours de l'obésité.

Des analyses chimiques effectuées ont révélé des teneurs en fibres alimentaires totales, en cellulose et en pectine non négligeables. De plus l'étude in vivo a démontré chez les rats obèses supplémentés en écorces d'oranges, une diminution significative du poids, de la glycémie et des lipides sériques (cholestérol total et triglycérides). De plus le bilan lipoprotéique révèle une nette amélioration chez les rats obèses sous écorces comparés aux témoins. Ce-ci confère à ce sous-produit un effet satiétogène, hypoglycémiant et hypolipémiant remarquable.

La consommation régulière d'écorce d'orange pourrait contribuer à la prévention/correction de l'obésité pour éviter les conséquences pathologiques qui lui sont attribuées.

Mots-clés : Valorisation des sous-produits agro-alimentaires, écorces d'orange, fibres alimentaires, obésité, métabolisme.

Abstract

This study falls within the scope of the valorization of agri-food industrial by-products. The aim is to assess the impact of a diet enriched with orange peel, which is rich in dietary fiber, on carbohydrate-lipid and lipoprotein balances during obesity.

Chemical analyses revealed significant levels of total dietary fiber, cellulose and pectin. In addition, the in vivo study showed that in obese rats supplemented with orange peel, there was a significant reduction in weight, glycaemia and serum lipids (total cholesterol and triglycerides). In addition, the lipoprotein balance revealed a clear improvement in the obese rats on orange peel compared with the controls. This gives this by-product a remarkable satiety-enhancing, hypoglycemic and lipid-lowering effect.

Regular consumption of orange peel could help prevent/correct obesity and avoid the pathological consequences attributed to it.

Keywords: Valorization of agri-food by-products, orange peel, dietary fibre, obesity, metabolism.

ملخص

تندرج هذه الدراسة ضمن إطار تثمين الفوائض الصناعية الزراعية الغذائية. الهدف هو تقييم تأثير نظام غذائي مُحسَّن بقشور البرتقال، والتي تحتوي على الألياف الغذائية بكميات كبيرة، على مستويات الكربوهيدرات والدهون والليبوبروتين في الدم خلال فترة السمنة.

أظهرت التحاليل الكيميائية المجراة وجود مستويات ملحوظة من الألياف الغذائية الكلية، والسليولوز، والبكتين. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت الدراسة على الحيوانات انخفاضاً ملحوظاً في الوزن والسكر في الدم والدهون الدموية (الكولسترول الكلي والتريغليسيريد) لدى الجرذان السمينية التي تم إعطاؤها كمكملات قشور البرتقال. بالإضافة إلى ذلك، أشارت تحاليل الليبوبروتين إلى تحسن واضح في الجرذان السمينية التي تم إعطاؤها قشور البرتقال مقارنة بالمجموعة الشاهدة. هذا يضيف تأثيراً بارزاً مشبعاً ومخفضاً للسكر في الدم ومخفضاً للدهون.

يمكن أن يساهم تناول قشور البرتقال بانتظام في الوقاية/تصحيح السمنة، وبالتالي تجنب العواقب المرضية المرتبطة

بها.

الكلمات الرئيسية: تعزيز الفوائض الزراعية الغذائية، قشور البرتقال، الألياف الغذائية، السمنة الأبيض الخلوي.