



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Bejaia
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaires

Polycopié de cours

Applications alimentaires des corps gras

Présenté par :
Dr DEFLAOUI Leila épouse ABDELFETTAH

Enseignante-Chercheuse

Public ciblé:

M2 SCG

M2 TIAA

Année universitaire : 2024/2025

Avant-propos

Dans un environnement alimentaire mondial en perpétuelle transformation, où la santé et le bien-être des consommateurs sont au cœur des préoccupations, il est essentiel de comprendre le rôle des corps gras dans notre alimentation. Les industries agroalimentaires, en particulier, doivent s'adapter aux exigences croissantes en matière de qualité nutritionnelle et de sécurité alimentaire. En Algérie, la valorisation des corps gras, notamment à travers des produits comme l'huile d'olive, s'inscrit dans une démarche visant à promouvoir des choix alimentaires sains et équilibrés.

Ce cours sur les applications alimentaires des corps gras a pour objectif de fournir aux étudiants une compréhension approfondie des différents types de corps gras, de leurs bienfaits nutritionnels et des méthodes de cuisson appropriées. Nous aborderons des thématiques essentielles telles que l'intérêt nutritionnel de l'huile d'olive, les implications de la friture et des produits frits, ainsi que les propriétés des isomères conjugués de l'acide linoléique.

À travers une approche méthodologique adaptée aux réalités algériennes, ce module inclura des références aux normes de qualité et de sécurité alimentaire. L'objectif est de doter les étudiants des compétences nécessaires pour analyser et évaluer les applications des corps gras dans l'alimentation, tout en étant conscients des enjeux de santé publique associés.

En somme, ce cours vise à sensibiliser les futurs professionnels aux choix sains et à l'importance d'une consommation éclairée des corps gras, afin de contribuer à une alimentation plus équilibrée et bénéfique pour la santé.

Objectifs de l'enseignement

Dans ce cours, les apprenants sont invités à explorer l'importance des corps gras dans leur alimentation quotidienne. Ils auront l'occasion d'acquérir des connaissances sur les différents types de graisses, en mettant l'accent sur les choix sains et les méthodes de cuisson appropriées.

Au fil des chapitres, les étudiants découvriront les bienfaits nutritionnels de l'huile d'olive, les risques liés à la friture, ainsi que les avantages des isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA). L'enseignement promeut une approche équilibrée, permettant aux apprenants de faire des choix éclairés pour améliorer leur santé et leur bien-être, tout en savourant les saveurs et les bienfaits des huiles dans leur alimentation.

Connaissances préalables recommandées

Biochimie et chimie des corps gras, nutrition, procédés alimentaire.

Fiche descriptive du cours

Enseignant: DEFLAOUI-ABDELFETTAH Leila

Domaine: Science de la nature et de la vie

Filière: Sciences alimentaires

Intitulé du master: Science des corps gras

Intitulé de la matière: Applications alimentaires des corps gras

Semestre: 3

Crédits: 4

Coefficient: 2

Volume horaire global: 45h00 (cours:1h30, TP: 1h30)

Mode d'évaluation: Compte rendu et examen semestriel

- Contrôle examen cours : 60%

- Contrôle continu (rapport des sorties, TP) : 40%

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Chapitre 1 :Intérêt nutritionnel de l'huile d'olive

I. Introduction.....	1
II. Catégories d'huile d'olive.....	1
III. Composition de l'huile d'olive.....	2
IV. Intérêt nutritionnel et thérapeutique de l’huile d’olive.....	11
V. Digestion et biodisponibilité.....	17
VI. Facteurs influençant la qualité nutritionnelle.....	17
VII. Application alimentaire.....	18
VIII. Comparaison avec d’autres huiles vegetales.....	19
IX. Limites.....	19
X. Conclusion.....	20

Chapitre 2 : Huiles de friture et produits frits

I. Généralités.....	22
II. Definition.....	22
III. Différents types de friture.....	22
IV. Propriétés des huiles de friture.....	23
V. Processus de cuisson.....	26
VI. Dégradation des huiles de friture.....	28
VII. Qualité et controle des huiles.....	31

VIII. Absorption d'huiles par les aliments.....	32
IX. Caractéristiques des produits frits	33
X. Aspects nutritionnels et sanitaires	34
XI. Bonnes pratiques des fritures	35
XII. Applications industrielles	35
XIII. Innovations et alternatives.....	36
XIV. Conclusion.....	36

Chapitre 3 : Les isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA)

I. Généralités	37
II. Source des CLA.....	38
III. Structure et classification des CLA.....	39
IV. Propriétés physico-chimiques	40
V. Méthodes d'analyse et de caractérisation des CLA	42
VI. Effets physiologiques et métaboliques des CLA	44
VII. Utilisation industrielle et suppléments alimentaires des CLA	48
VIII. Perspectives de recherche et innovations sur les CLA	50

Références bibliographiques

Liste des abréviations

c: cis

CCM : Chromatographie sur couche mince

COI : Conseil oléicole internationale

CLA: Isomères conjugués de l'acide linoléique

DGF: Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaft (Société allemande de la science des graisses).

FID : détecteurs à ionisation de flamme

GC: Chromatographie en Phase Gazeuse

HDL: lipoprotéines de haute densité

HPLC : Chromatographie Liquide Haute Performance

IR: Spectroscopie Infrarouge

LC-MS : la spectrométrie de masse

LDL: lipoprotéines de basse densité

POL: palmityl-oléyl-linoléyl glycerol

SOO: 1-stéaryl-2, 3 dioleyl glycérol

t: Trans

RMN : Résonance Magnétique Nucléaire

Liste des figures

Figure 1 : Formation des substances aromatiques par la voie de lipoxygénase	07
Figure 2 : Structure chimique des tocophérols	09
Figure 3 : Principaux composés phénoliques de l'huile d'olive.	10
Figure 4 : Métabolisme de l'acide linoléique chez les bactéries fécales de l'homme...	39
Figure 5 : Structures chimiques des deux isomères <i>c9,t11</i> et <i>t10,c12</i> de l'acide linoléique	40
Figure 6 : Multiples cibles de l'isomère CLA <i>10trans,12cis</i> sur la différenciation et le métabolisme de l'adipocyte	45

Liste des tableaux

Tableau I : Différentes catégories d'huile d'olive.....	02
Tableau II : Composition en triglycérides de l'huile d'olive (en %).....	03
Tableau III : Composition de l'huile d'olive en acides gras.....	04
Tableau IV : Effet biologique des principaux constituants bioactifs de l'huile	14
Tableau V : Les isomères conjugués de l'acide linoléique dans les aliments.....	38
Tableau VI : Principaux isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA).....	40
Tableau VII : Effets des principaux isomères de (CLA) sur les enzymes et processus du métabolisme lipidique.....	41

Introduction

Dans le cadre des enseignements en Master 2 en Sciences des Corps Gras et en Technologie de l'Industrie Agroalimentaire, il est essentiel d'approfondir la compréhension des matières grasses, qui jouent un rôle fondamental tant sur le plan nutritionnel que technologique. Les corps gras ne se limitent pas à être de simples sources d'énergie ; ils sont également des vecteurs de saveurs, de textures et de bienfaits pour la santé. Ce polycopié se propose d'explorer trois chapitres clés qui mettent en lumière l'importance des huiles et des graisses dans l'alimentation moderne, ainsi que leur impact sur la santé publique.

Le premier chapitre se penche sur l'intérêt nutritionnel de l'huile d'olive, un produit emblématique de la diète méditerranéenne. Connue pour ses propriétés bénéfiques, l'huile d'olive est riche en acides gras monoinsaturés, en antioxydants et en composés phénoliques. Les études scientifiques soutenant ses effets positifs sur la santé cardiovasculaire, la prévention de maladies chroniques et son rôle dans la promotion d'un mode de vie sain seront examinées. De plus, les différentes variétés d'huile d'olive, leurs méthodes de production et les critères de qualité influençant leur valeur nutritionnelle seront abordés.

Le deuxième chapitre traite de la friture et des produits frits, un sujet souvent controversé en raison des perceptions négatives qui entourent la consommation de ces aliments. La friture, lorsqu'elle est réalisée correctement, peut offrir une expérience culinaire unique tout en préservant les qualités organoleptiques des aliments. Les techniques de friture, les types d'huiles les plus appropriées, ainsi que les effets de la friture sur la qualité nutritionnelle des aliments seront analysés. Les alternatives plus saines à la friture traditionnelle et les innovations technologiques visant à réduire les risques associés à la consommation de produits frits seront également discutées.

Enfin, le troisième chapitre se concentre sur les isomères de l'acide linoléique, un acide gras essentiel qui joue un rôle crucial dans le métabolisme humain. Les

différentes formes de cet acide gras, notamment les isomères cis et trans, ainsi que leur impact sur la santé seront explorés. Les recherches récentes mettent en lumière l'importance de ces isomères dans la régulation des processus inflammatoires et métaboliques. Les implications de ces découvertes pour l'industrie agroalimentaire, notamment en ce qui concerne la formulation de produits alimentaires plus sains, seront également abordées.

À travers ce polycopié, l'objectif est de fournir une compréhension approfondie des enjeux liés aux corps gras, tant sur le plan scientifique que pratique. En intégrant des connaissances théoriques et des applications concrètes, ce document vise à préparer les futurs professionnels de l'industrie agroalimentaire à relever les défis contemporains liés à la nutrition et à la santé publique.

Chapitre 1: Intérêt nutritionnel de l'huile d'olive

I. Introduction

Les lipides occupent une place essentielle dans l'alimentation humaine, non seulement en tant que source énergétique, mais aussi en raison de leur rôle structural et fonctionnel dans l'organisme. Parmi les différentes sources lipidiques, l'huile d'olive se distingue par ses propriétés nutritionnelles et ses effets bénéfiques sur la santé.

Utilisée depuis l'Antiquité dans le bassin méditerranéen, l'huile d'olive constitue un pilier du régime méditerranéen, reconnu pour ses effets protecteurs contre plusieurs maladies chroniques. Ce chapitre vise à analyser en détail la composition, les propriétés nutritionnelles et les applications alimentaires de l'huile d'olive.

II. Catégories d'huile d'olive

On désigne par l'huile d'olive vierge toute huile extraite du fruit de l'olivier (*Olea europaea L.*) uniquement par des procédés mécaniques ou d'autres procédés physiques et dans des conditions, notamment thermiques, n'entraînant pas d'altération de l'huile, à l'exception des huiles obtenues par solvant ou par des procédés de réestérification et de tout mélange avec des huiles d'autre nature. L'huile d'olive vierge ne doit avoir subi aucun autre traitement que le lavage, la décantation, la centrifugation et la filtration.

Les huiles d'olive peuvent être répertoriées selon diverses catégories établies selon les caractéristiques des huiles. Le Conseil Oléicole International a ainsi répertorié quatre catégories d'huile d'olive qui sont rassemblées dans le tableau II.

Tableau I : Différentes catégories d'huile d'olive.

Catégorie	Acidité (%)	Indice de peroxyde (mEq O ₂ /Kg)	Extinction spécifique dans l'UV			Caractéristiques organoleptiques	
			270nm	ΔK	232nm	Médiane du défaut	Médiane du fruité
1-Huile d'olive vierge extra	≤ 0,8	≤ 20	≤ 0,22	≤ 0,01	≤ 2,5	Me = 0	Me > 0
2-Huile d'olive vierge fine	≤ 2,0	≤ 20	≤ 0,25	≤ 0,01	≤ 2,6	0 < Me ≤ 2,5	Me > 0
3-Huile d'olive vierge courante	≤ 3,3	≤ 20	≤ 0,30	≤ 0,01	–	2,5 < Me ≤ 6	–
4-Huile olive vierge lampante	> 3,3	Non limité	–	–	–	Me > 6	–

III. Composition de l'huile d'olive

La composition chimique de l'huile d'olive (*Olea europaea, L.*) dépend largement de la variété du fruit, des conditions agronomiques, du degré de maturité, des procédés d'extraction et des conditions de stockage. Les composants de l'huile d'olive sont souvent classés en deux catégories : la fraction saponifiable et la fraction insaponifiable.

III. 1. Fraction saponifiable

La quasi-totalité de la composition de l'huile est représentée par la fraction saponifiable, environ 99 % . Elle se compose essentiellement de :

III. 1. 1. Triglycérides

Les triglycérides de l'huile d'olive sont caractérisés par leur composition en acides gras et leur structure glycéridique, dont la majorité (environ 25 à 51,7%) se présente sous forme de trioléine. Les principaux triglycérides de l'huile d'olive sont représentés dans le tableau III.

Tableau III : Composition en triglycérides de l'huile d'olive (en %)

Nature	%
OOO	40-60
POO	10-20
OOL	10-20
POL	5-7
SOO	5-7

La structure glycéridique de l'huile d'olive est principalement caractérisée par une estérification préférentielle des fonctions alcools externes du glycérol par les acides gras saturés (palmitique 16 :0 et stéarique 18 :0). La position Sn2 du glycérol est esterifiée par les acides gras insaturés en particulier l'acide oléique.

III. 1. 2. Acides gras

L'huile d'olive a un profil d'acides gras caractéristique, dominé par l'acide oléique C18 :1, l'acide linoléique C18 :2, l'acide palmitique C16 :0 et l'acide stéarique C 18 :0. Les principaux acides gras de l'huile d'olive sont représentés dans le tableau IV.

Tableau IV : Composition de l'huile d'olive en acides gras.

Acides gras	Symboles	Limite de variabilité (%)
Acide myristique	C14 : 0	≤ 0,05
Acide palmitique	C16 : 0	7,5 – 20,0
Acide palmitoléique	C16 : 1	0,3 – 3,5
Acide heptadécanoïque	C17 : 0	≤ 0,3
Acide heptadécénoïque	C17 : 1	≤ 0,3
Acide stéarique	C18 : 0	0,5 – 5,0
Acide oléique	C18 : 1	55,0 – 83,0
Acide linoléique	C18 : 2	3,5 – 21,0
Acide linoléinique	C18 : 3	≤ 1,0
Acide arachidique	C20 : 0	≤ 0,6
Acide gadoléique	C20 : 1	≤ 0,4
Acide béhénique	C22 : 0	≤ 0,2
Acide lignocérique	C24 : 0	≤ 0,2

La norme européenne stipule que des teneurs en trans oléique, trans (linoléique + linoléinique) doivent être respectivement inférieures à 0,05%.

III. 2. Fraction insaponifiable

Elle est appelée également fraction non glycéridique et souvent accompagnée des termes « composants mineurs » : hydrocarbures, squalène, beta-carotène, tocophérols, phénols et substances dérivées, esters, aldéhydes et cétones, alcools aliphatiques, alcools terpéniques et stérols.

III. 2. 1. Stérols

Les stérols de l'huile d'olive, également appelés phytostérols, constituent une fraction importante des composés insaponifiables. Le β -sitostérol est le stérol majoritaire, suivi du campestérol et du stigmastérol. Leur teneur et leur profil sont souvent utilisés comme critères d'authenticité et de qualité de l'huile d'olive.

Sur le plan nutritionnel, les phytostérols présentent un intérêt particulier en raison de leur capacité à réduire l'absorption intestinale du cholestérol. En raison de leur structure chimique proche de celle du cholestérol, ils entrent en compétition avec celui-ci au niveau des micelles intestinales, ce qui limite son incorporation et favorise son élimination.

Cette action contribue à la diminution du cholestérol sanguin, notamment du LDL-cholestérol, et participe ainsi à la prévention des maladies cardiovasculaires.

Par ailleurs, certains stérols possèdent des propriétés anti-inflammatoires et pourraient jouer un rôle dans la modulation du système immunitaire. Ils contribuent également à la stabilité oxydative de l'huile, bien que leur rôle soit moins marqué que celui des polyphénols.

Enfin, le profil en stérols est largement utilisé dans le contrôle de qualité et la détection des fraudes, car toute variation anormale peut indiquer une adultération avec d'autres huiles végétales. Le β -sitostérol est majoritaire et contribue à la réduction du cholestérol.

III. 2. 2. Squalène

Le squalène est un hydrocarbure triterpénique naturellement présent dans la fraction insaponifiable de l'huile d'olive, où il peut représenter jusqu'à 0,7 % de la composition totale. Il constitue un intermédiaire clé dans la biosynthèse du cholestérol chez les êtres vivants.

Sur le plan nutritionnel, le squalène présente un intérêt particulier en raison de ses propriétés biologiques. Il possède une activité antioxydante modérée, contribuant à la

protection des lipides contre l'oxydation. Il agit également comme un piègeur d'oxygène singulet, ce qui limite les dommages oxydatifs au niveau cellulaire.

Par ailleurs, le squalène est connu pour ses effets protecteurs potentiels contre certaines pathologies, notamment en participant à la prévention des maladies cardiovasculaires et de certains cancers, bien que ces effets nécessitent encore des investigations approfondies.

Enfin, il joue un rôle important dans la stabilité de l'huile d'olive en renforçant sa résistance à l'oxydation, et contribue également à certaines propriétés bénéfiques au niveau cutané, ce qui explique son utilisation fréquente dans les domaines pharmaceutique et cosmétique. Composé bioactif impliqué dans la protection cellulaire.

III. 2. 3. Les substances aromatiques

Les composés responsables de l'arôme délicat et unique de l'huile d'olive proviennent du fruit lesquels, en plus, définissent les caractéristiques organoleptiques de l'huile. Ils sont incorporés à l'huile durant le broyage et le malaxage des olives.

Les principaux précurseurs de ces composés sont les acides gras insaturés (particulièrement les acides linoléique et linoléique) et les acides aminés.

Soixante quatre (64) substances volatiles dans 39 variétés d'olive ont été identifiées. Leurs concentrations varient selon le cultivar, le degré de maturité, les conditions agronomiques, le système d'extraction, l'état sanitaire des olives et surtout l'activité enzymatique.

La figure 2 illustre les étapes de formation des différents composés volatiles par la voie de la lipoxigénase.

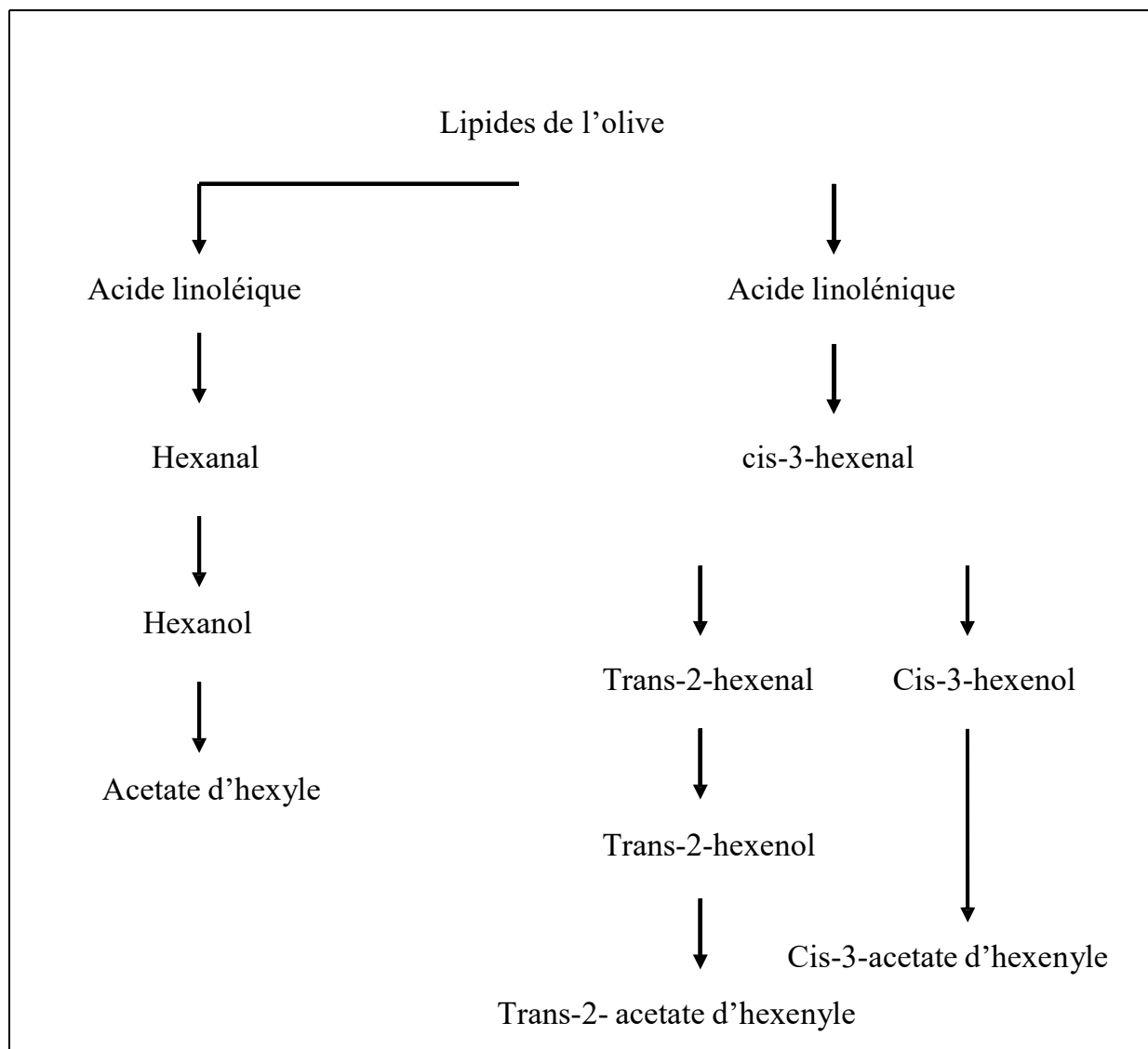


Figure 1 : Formation des substances aromatiques par la voie de lipoxygénase

III. 2. 4. Les chlorophylles

L'huile d'olive est riche en pigments chlorophylliens : chlorophylles a et b qu'on retrouve naturellement dans les olives fraîches et les phéophytines a et b qui sont formés durant l'extraction de l'huile.

Leur présence dans l'huile d'olive dépend de la variété, du degré de maturité, des conditions environnementales, des procédés d'extraction et des conditions de stockage.

Le processus d'extraction de l'huile d'olive cause des pertes en ces pigments, principalement les chlorophylles qui sont transformées en phéophytines.

III. 2. 5. Antioxydants

a) Les caroténoïdes

L'huile d'olive est riche en caroténoïdes. Leur présence dans l'huile d'olive dépend de la variété, du degré de maturité, des conditions environnementales, du procédé d'extraction et les conditions de stockage.

Les principaux caroténoïdes dans l'huile d'olive sont la lutéine, le beta-carotène et les xanthophylles suivantes : néoxanthine, violaxanthine, lutéoxanthine, anthéroxanthine, mutatoxanthine et beta-cryptoxanthine.

Les caroténoïdes sont des puissants inhibiteurs de la photo-oxydation de l'huile d'olive induite par les chlorophylles.

b) Tocophérols : Vitamines

Les différents tocophérols (α , β , γ et δ) se distinguent entre eux par le nombre et la localisation des groupements méthyles fixés sur le noyau (figure3).

L'huile d'olive contient de l' α -tocophérol à environ 95% du total; le tocophérol doté de la plus forte activité vitamine E.

La teneur de ces molécules présentes dans l'huile est fonction de plusieurs facteurs dont la variété de l'olive et sa maturité ainsi que les conditions et la durée de la conservation de l'huile .

Les tocophérols sont des composés importants, de l'huile d'olive en raison de leur contribution à la stabilité oxydative et aux qualités nutritionnelles de l'huile. Ils présentent un effet synergiste avec le β -carotène en le protégeant contre l'oxydation.

C'est un antioxydant naturel efficace, en cédant un ou deux atomes d'hydrogène par molécule à des radicaux libres éventuellement présents. De plus,

ces composés protègent les acides gras polyinsaturés de l'oxydation .

R₁	R₂	R₃	Dénomination
CH ₃	CH ₃	CH ₃	α
CH ₃	H	CH ₃	β
H	CH ₃	CH ₃	γ
H	H	CH ₃	δ

Figure 2 : Structure chimique des tocophérols

c) Composés phénoliques

Les polyphénols communément dénommés, composés phénoliques est une appellation générique qui désigne un vaste ensemble de substances aux structures chimiques variées. Actuellement, plus de 8000 composés naturels ont été isolés et identifiés.

L'effet de cette catégorie de composés sur la qualité, la conservation et la valeur biologique de l'huile d'olive a fait l'objet de nombreuses recherches ces dernières années.

Leurs teneurs dans l'huile d'olive vierge dépendent non seulement de la variété, mais aussi de la maturation des fruits.

Les composés phénoliques dans l'huile d'olive sont soit à l'état lié, etherfiés ou estérifiés dans les glucosides, soit à l'état libre issus des réactions d'oxydation et d'hydrolyse au sein de ces composés au cours de la maturation du fruit, ou lors du processus de l'extraction.

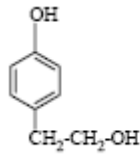
L'huile d'olive vierge est riche en polyphénols appartenant à diverses familles : (phénols et hydroxyphénols, acides et alcools phénols, sécoiridoides, lignanes, flavonoides, ...).

L'oleuropéine et le ligstroside sont les sécoiridoides majoritaires de l'olive. Leur aglycone lipophile, sont présents dans l'huile d'olive . Les principaux composés phénoliques de l'huile d'olive sont représentés dans la figure 4.

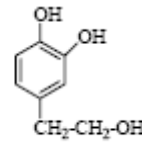
Les anti-oxydants les plus puissants sont représentés par les *Ortho*-diphénols, dont les principaux sont : l'hydroxytyrosol, l'acide caféique et l'oléuropéine .

Les deux principaux flavonoides présents dans l'huile d'olive vierge sont la lutéoline et l'apigénine .

Les alcools phénoliques

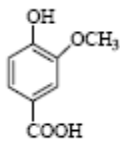


Tyrosol

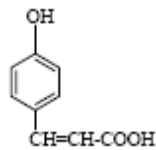


Hydroxytyrosol

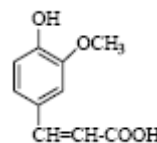
Les acides phénoliques



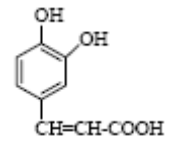
Acide vanillique



Acide p-coumarique

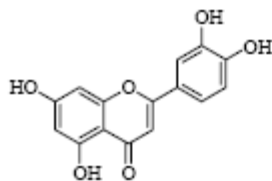


Acide férulique

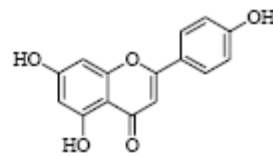


Acide caféique

Les flavonoïdes

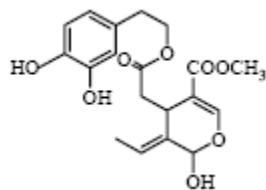


Lutéoline

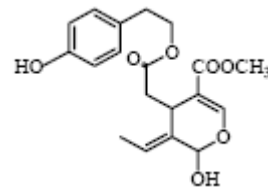


Apigénine

Les sécoiridoïdes

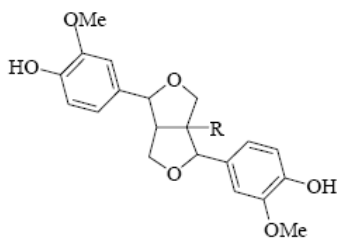


Oleuropéine aglycone



Ligstroside aglycone

Les lignanes



R=H Pinorésinol
R=OCOCH₃ 1-acétoxypinorésinol

Figure 3: Principaux composés phénoliques de l'huile d'olive .

IV. Intérêts nutritionnel et thérapeutique de l'huile d'olive

L'intérêt nutritionnel de l'huile d'olive repose essentiellement sur sa richesse en acides gras mono-insaturés, en particulier l'acide oléique, ainsi que sur la présence de nombreux composés bioactifs tels que les polyphénols, les tocophérols et le squalène. Ces constituants agissent de manière synergique et confèrent à cette huile des propriétés protectrices vis-à-vis de plusieurs pathologies chroniques.

IV. 1 Effets sur la santé cardiovasculaire

L'huile d'olive est largement reconnue pour son rôle protecteur contre les maladies cardiovasculaires. Sa consommation régulière permet d'améliorer le profil lipidique en diminuant les concentrations plasmatiques de LDL-cholestérol, tout en maintenant, voire en augmentant, celles du HDL-cholestérol. Par ailleurs, les composés phénoliques présents dans l'huile d'olive limitent l'oxydation des lipoprotéines de basse densité, un phénomène clé dans le développement de l'athérosclérose. Cette action antioxydante contribue à réduire la formation des plaques d'athérome au niveau des parois vasculaires.

En outre, l'huile d'olive améliore la fonction endothéliale en réduisant l'adhésion des cellules inflammatoires aux parois des vaisseaux sanguins, ce qui participe à la prévention des phénomènes thrombotiques. Des études ont également montré qu'elle peut exercer un effet hypotenseur modéré, contribuant ainsi à la régulation de la pression artérielle.

IV. 2 Activité antioxydante

L'activité antioxydante de l'huile d'olive est principalement liée à sa teneur en polyphénols et en vitamine E. Ces composés jouent un rôle fondamental dans la neutralisation des radicaux libres, responsables du stress oxydatif. Les polyphénols, tels que l'hydroxytyrosol et le tyrosol, agissent en cédant des électrons aux espèces réactives de l'oxygène, interrompant ainsi les réactions en chaîne d'oxydation lipidique.

La vitamine E, quant à elle, protège les acides gras polyinsaturés des membranes cellulaires contre la peroxydation lipidique. Cette protection contribue à maintenir l'intégrité des structures cellulaires et à ralentir les processus de vieillissement cellulaire.

Ainsi, la consommation d'huile d'olive participe à la réduction du stress oxydatif impliqué dans de nombreuses maladies chroniques.

IV. 3 Effets anti-inflammatoires

L'huile d'olive possède des propriétés anti-inflammatoires importantes, attribuées principalement à certains de ses composés phénoliques, notamment l'oléocanthal. Ce composé agit en inhibant l'activité des enzymes cyclooxygénases (COX-1 et COX-2), impliquées dans la synthèse des médiateurs de l'inflammation, tels que les prostaglandines.

De plus, la consommation régulière d'huile d'olive est associée à une diminution des marqueurs biologiques de l'inflammation, tels que la protéine C-réactive (CRP) et certaines cytokines pro-inflammatoires comme l'IL-6 et le TNF- α . Ces effets contribuent à la prévention des maladies inflammatoires chroniques et participent à la protection globale de l'organisme.

IV. 4 Effets sur le métabolisme

L'huile d'olive exerce également des effets bénéfiques sur le métabolisme, en particulier sur le métabolisme glucidique et lipidique. Elle améliore la sensibilité à l'insuline, ce qui favorise une meilleure régulation de la glycémie et contribue à la prévention du diabète de type 2. Elle permet également de réduire la glycémie postprandiale lorsqu'elle est consommée dans le cadre d'un repas équilibré.

Sur le plan lipidique, l'huile d'olive contribue à diminuer la lipogenèse hépatique tout en favorisant l'oxydation des acides gras. Elle peut également jouer un rôle dans la régulation du poids corporel en augmentant la sensation de satiété, ce qui peut limiter les apports énergétiques excessifs.

IV. 5 Autres effets physiologiques

Outre ses effets cardiovasculaires et métaboliques, l'huile d'olive présente d'autres bénéfices pour la santé. Elle possède un effet protecteur potentiel contre certains types de cancers, grâce à l'action de ses composés phénoliques qui peuvent inhiber la prolifération cellulaire et induire l'apoptose dans certains modèles expérimentaux.

Elle contribue également à la santé digestive en stimulant la sécrétion biliaire et en facilitant la digestion des lipides. Par ailleurs, elle exerce un effet protecteur sur la muqueuse gastrique.

Enfin, des études suggèrent un rôle neuroprotecteur de l'huile d'olive, lié à sa capacité à réduire le stress oxydatif au niveau cérébral, ce qui pourrait contribuer à la prévention des maladies neurodégénératives. Elle participe également à la modulation du système immunitaire en réduisant l'inflammation systémique.

Le tableau V récapitule les effets biologiques des principaux constituants de l'huile d'olive.

Tableau IV : Effet biologique des principaux constituants bioactifs de l'huile d'olive

Constituants	Effets
Acide oléique	<ul style="list-style-type: none"> - Abaisse le cholestérol LDL et le protège de l'oxydation. - Ne modifie pas ou augmente le cholestérol HDL et- Protège les HDL de l'oxydation - Diminue les triglycérides plasmatiques. - Abaisse l'incorporation des LDL dans les macrophages. - Réduit la production de l'O₂ singulet par monocytes humains. - Améliore la cinétique d'incorporation des lipides dans le plasma au cours de la digestion. -Améliore la vitesse d'incorporation des triglycérides dans les lipoprotéines.
Polyphénols	<ul style="list-style-type: none"> - Protègent les LDL de l'oxydation. - Epargnent la consommation de vitamine E lors de l'oxydation des LDL in vitro. - Protègent de l'attaque par l'ion peroxy nitrite in vitro. - Diminuent la production de l'O₂ singulet par lignée promocytaire. - Inhibent les 5- et 12-lipoperoxygénases. - L'hydroxytyrosol et l'oleuropéine agissent comme antibactérien à concentrations élevées. Antiagrégants, antithromboxane, anti-inflammatoire, antithrombotique et vaso-relaxantes - L'oleuropéine présente des propriétés diurétiques, hypoglycémiantes et antihypertensives. <p>Effet inhibiteur sur une enzyme impliquée dans le développement du cancer.</p>

Tocophérols (Vitamine E)	Effets immunorégulateur (améliore la réponse immunitaire et la résistance aux maladies). Réduisent la mutagénicité des produits mutagènes.
Stérols	Le β -sitostérol s'oppose à l'absorption intestinale du cholestérol alimentaire et possède un effet bénéfique sur le cancer du colon, du sein et de l'estomac. Contribuent à la diminution du cholestérol total du sérum et du LDL .
Substances aromatiques	Contribuent à une meilleure activité digestive. Effet antimicrobien.
Pigments	Exercent une activité antioxydante (caroténoïdes et chlorophylles). La chlorophylle exerce une action d'excitation du métabolisme, stimulation de la croissance cellulaire et accélération des processus de cicatrisation.
Squalène	Augmente les formes athérogènes de transport de cholestérol plasmatique. Inhibe la synthèse du cholestérol. Joue un rôle protecteur dans le développement des tumeurs.

V. Digestion et biodisponibilité

La digestion de l'huile d'olive suit les étapes classiques du métabolisme lipidique, tout en présentant certaines spécificités liées à sa composition. Au niveau gastrique, une hydrolyse partielle des triglycérides débute sous l'action des lipases gastriques, mais c'est principalement dans l'intestin grêle que se déroule la digestion complète. Sous l'effet des sels biliaires, les lipides sont émulsionnés, ce qui facilite l'action des lipases pancréatiques. Ces enzymes hydrolysent les triglycérides en acides gras libres et monoglycérides.

Les produits de digestion s'organisent ensuite en micelles mixtes, structures indispensables à leur transport à travers la couche aqueuse qui tapisse la muqueuse intestinale. L'absorption se fait au niveau des entérocytes, où les acides gras et monoglycérides sont ré-estérifiés en triglycérides, puis incorporés dans des chylomicrons qui rejoignent la circulation lymphatique.

Les composés mineurs de l'huile d'olive, notamment les polyphénols, présentent une biodisponibilité variable. Certains, comme l'hydroxytyrosol, sont relativement bien absorbés, tandis que d'autres subissent des transformations métaboliques importantes. Leur absorption dépend de plusieurs facteurs, notamment la matrice alimentaire, les interactions avec d'autres nutriments et les conditions physiologiques de l'individu.

VI. Facteurs influençant la qualité nutritionnelle

La qualité nutritionnelle de l'huile d'olive est fortement influencée par un ensemble de facteurs agronomiques et technologiques. La variété d'olive joue un rôle déterminant, chaque cultivar présentant un profil spécifique en acides gras et en composés phénoliques. De plus, les conditions de culture, telles que le climat, le type de sol et les pratiques agricoles, influencent la composition finale de l'huile.

Le stade de maturité des olives au moment de la récolte est également un paramètre clé. Les olives récoltées précocement donnent des huiles plus riches en polyphénols, tandis que les fruits plus mûrs produisent des huiles plus douces mais moins riches en composés antioxydants.

Le procédé d'extraction constitue un autre facteur déterminant. Les huiles vierges et extra vierges, obtenues par des procédés mécaniques à froid, conservent une grande partie des composés bioactifs, contrairement aux huiles raffinées qui subissent des traitements pouvant altérer leur qualité nutritionnelle.

Enfin, les conditions de stockage influencent fortement la stabilité de l'huile. L'exposition à la lumière, à l'oxygène et à des températures élevées favorise les réactions d'oxydation, entraînant une dégradation des acides gras et des composés phénoliques. De même, les traitements thermiques, notamment lors de la cuisson, peuvent réduire la teneur en antioxydants, bien que l'huile d'olive reste relativement stable grâce à sa richesse en acide oléique.

VII. Applications alimentaires

L'huile d'olive occupe une place importante dans l'alimentation humaine, tant au niveau domestique qu'industriel. Son utilisation à cru est particulièrement recommandée, car elle permet de préserver l'intégralité de ses composés bioactifs. Elle est largement utilisée pour l'assaisonnement des salades, des plats froids et des préparations culinaires traditionnelles.

En cuisson, l'huile d'olive présente une bonne stabilité thermique, notamment grâce à sa forte teneur en acide oléique et à la présence d'antioxydants naturels. Elle peut être utilisée pour des cuissons modérées, telles que le sauté ou la cuisson au four. Toutefois, des températures très élevées et des temps de cuisson prolongés peuvent entraîner une dégradation partielle de ses composés bénéfiques.

Dans l'industrie agroalimentaire, l'huile d'olive est utilisée dans la formulation de nombreux produits, tels que les sauces, les conserves, les produits de boulangerie et certaines margarines. Elle joue un rôle technologique important en contribuant à la texture, à la stabilité et aux propriétés sensorielles des aliments. Sa saveur caractéristique et sa valeur nutritionnelle en font également un ingrédient de choix pour les produits à haute valeur ajoutée.

VIII. Comparaison avec d'autres huiles végétales

Comparée à d'autres huiles végétales, l'huile d'olive se distingue par sa composition particulière et ses propriétés nutritionnelles. Les huiles riches en acides gras polyinsaturés, comme l'huile de tournesol ou de soja, présentent une plus grande sensibilité à l'oxydation, ce qui peut limiter leur stabilité lors du stockage et de la cuisson.

À l'inverse, les huiles riches en acides gras saturés, comme l'huile de palme, offrent une meilleure stabilité thermique, mais sont associées à des effets moins favorables sur la santé cardiovasculaire lorsqu'elles sont consommées en excès.

L'huile d'olive représente ainsi un compromis optimal, combinant une bonne stabilité oxydative grâce à sa richesse en acides gras mono-insaturés, et des effets bénéfiques sur la santé liés à ses composés bioactifs. Cette spécificité explique sa place privilégiée dans les recommandations nutritionnelles.

IX. Limites

Malgré ses nombreux avantages, l'huile d'olive présente certaines limites qu'il convient de prendre en compte. Elle demeure un produit énergétique, avec un apport calorique élevé, ce qui implique une consommation modérée dans le cadre d'une alimentation équilibrée.

Par ailleurs, bien qu'elle soit relativement stable, une exposition à des températures très élevées peut entraîner la formation de composés d'oxydation potentiellement nocifs. La qualité de l'huile peut également varier en fonction des conditions de production, de transformation et de stockage, ce qui nécessite une attention particulière lors du choix du produit.

Enfin, certaines controverses subsistent dans la littérature scientifique, notamment concernant l'ampleur exacte de ses effets protecteurs, ce qui souligne la nécessité de poursuivre les recherches dans ce domaine.

X. Conclusion

L'huile d'olive constitue une source lipidique de grande valeur nutritionnelle, caractérisée par une composition riche en acides gras mono-insaturés et en composés bioactifs. Ses effets bénéfiques sur la santé cardiovasculaire, le métabolisme et les processus inflammatoires en font un aliment clé dans la prévention des maladies chroniques.

Son utilisation, tant à l'état cru que dans certaines préparations culinaires, doit cependant être maîtrisée afin de préserver ses propriétés nutritionnelles. La qualité de l'huile, les conditions de stockage et les modes de consommation sont autant de facteurs déterminants.

Dans une perspective scientifique et technologique, l'huile d'olive continue de susciter un intérêt croissant, notamment en ce qui concerne l'étude de ses composés phénoliques et leur rôle dans la santé humaine, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives de recherche et d'innovation dans le domaine des corps gras.

Chapitre 2 : Huiles de friture et produits frits

I. Généralités

La friture est une méthode de préparation des aliments très ancienne et très appréciée partout à travers le monde. La texture et la saveur unique des aliments frits sont des éléments importants qui expliquent son attrait. Par contre, les tendances des consommateurs vers les produits santé et faibles en matière grasse amènent à se pencher sur la réduction de la teneur en gras des aliments.

En une seule et même étape de traitement , la friture permet de déshydrater, cuire et formuler des aliments (imprégnation en matières grasses, perte de solutés, développement d'arôme...). L'application de la friture à toutes les échelles de transformations (domestiques, artisanales ou industrielle) permet la déshydratation et la cuisson des produits riches en eau (fruits, légumes ,viande et poisson). La friture peut être considérée également comme la force de déshydratation qui implique un transfert de chaleur et de masse résultant d'une série de changements physiques et chimiques des aliments .

II. Définition

La friture est un procédé de cuisson des aliments puisqu'il s'agit des températures supérieures au point d'ébullition (130 à 190 °C). Ce procédé permet donc une évaporation de l'eau à la surface des aliments permettant ainsi la déshydratation et la formation d'une croûte à la surface.

III. Différents types de friture

Il existe deux types de friture :

1. Friture plate (à la poêle) : une petite quantité d'huile préchauffée sur une surface plane ou dans une poêle utilisée pour frire les aliments.

2. Friture profonde : est un processus de cuisson des aliments par immersion dans l'huile comestible à une température supérieure au point d'ébullition de l'eau.

Pendant la friture profonde, l'huile est utilisée de façon répétée et continue à haute température et exposé à l'air. Dans ces conditions divers réactions chimiques complexes y compris l'oxydation, l'hydrolyse et la polymérisation se produisent pour dégrader l'huile de friture.

IV. Caractéristiques des huiles de friture

IV. 1 Composition chimique

Les huiles de friture sont principalement constituées de triglycérides. La proportion d'acides gras saturés, mono-insaturés et polyinsaturés influence directement leur stabilité à la chaleur. Les composés mineurs, tels que les tocophérols, les polyphénols et les stérols, protègent l'huile contre l'oxydation.

IV. 2 Propriétés physico-chimiques

Le point de fumée détermine la température maximale à laquelle l'huile peut être chauffée sans se décomposer. La viscosité et la stabilité oxydative sont également essentielles pour garantir la qualité du produit frit et limiter l'absorption excessive d'huile.

IV. 3 Choix des huiles de friture

Les corps gras dont le point de fumée est inférieur à 200°C sont généralement considérés comme trop instables pour une utilisation dans les procédés de friture industrielle à pression atmosphérique. Les corps gras très saturés, tels que les matières grasses d'origine animale sont très stables à la chaleur mais leur effet cholestérolémiant et les risques cardiovasculaire associés, sont rejeter par les consommateurs. Le choix des matières grasses de friture résulte alors d'un compromis entre les sensibilités à la

thermoxydation et le bénéfice nutritionnel et santé tels que l'huile d'olive et l'huile d'arachide.

Les huiles ou matières grasses végétales riches en acide gras mono-insaturés (et faibles en C18 :3) sont aujourd'hui privilégiées tels que l'huile d'olive, huile de palme, huile de tournesol, huile de coprah et huile d'arachide.

L'huile de soja et l'huile de colza sont naturellement riches en acide gras polyinsaturés et notamment en C18 :3. Ces huiles sont utilisées en friture après hydrogénation partielle.

IV.3. 1 Huile d'olive

L'huile d'olive est une huile de friture de première qualité, elle présente un faible niveau d'acides gras saturés. Faibles concentrations d'acide linoléique (C18:2) et d'acide linoléique (C18: 3) ce qui confère à l'huile un faible indice d'iode ce qui la rend résistante à l'oxydation.

IV.3. 2 Huile de palme

Contient une grande quantité d'acides saturés (acide palmitique) et une teneur élevée en B-carotène, en tocophérols et tocotriénols. Cette huile peut être utilisée pour la friture seule ou mélangée à d'autres huiles.

IV.3. 3 Huile de coco

L'huile de coco appartient au groupe des huiles lauriques, qui se caractérisent par leur forte teneur en acides gras saturés à courtes et moyennes chaînes. Cette composition confère à l'huile de coco des propriétés spécifiques : point de fusion élevé, bonne résistance à l'oxydation et au rancissement. Ce sont ces propriétés qui sont recherchées pour des applications alimentaires (friture, fabrication de margarine ...).

IV. 3. 4 Huile d'arachide

L'huile d'arachide est une huile de friture de première qualité. Son principal attrait est son faible indice d'iode ainsi que son niveau bas en acides gras polyinsaturés. Son composant le plus insaturé est l'acide linoléique (C18: 2) qui varie de 15 à 43% selon l'origine de l'huile, cette dernière doit contenir moins de 0,1% d'acide linoléique.

IV.3. 5 Huile de coton

L'huile de coton est une huile populaire pour la friture aux États-Unis. Son principal problème est qu'elle contient une quantité modérément élevée d'acide gras saturé à savoir 21-26% d'acide palmitique.

IV.3. 6 Huile de pépins de raisin

L'huile de pépins de raisin est une huile préférée en France malgré sa richesse en acide linoléique (C18: 2). Ceci est considéré comme un avantage pour certains qui envisagent un régime riche en acide linoléique pour diminuer le risque de maladie coronarienne. Cette huile est plus facilement oxydée et n'est donc pas destinée à la friture. Elle est parfois hydrogénée pour améliorer sa performance pour la friture mais cela supprime son principal avantage alimentaire.

IV. 3. 7 Huile de maïs

Depuis longtemps, cette huile était considérée comme une huile de friture de fins domestiques. Cette huile présente une teneur élevée en stérols et peut conférer une viscosité plus faible, donc un meilleur drainage des aliments frits. Cependant, c'est une huile chère et rarement utilisée pour la friture industrielle .

IV. 3. 8 Suif et saindoux

Le suif et le saindoux sont également utilisés pour la friture, le suif de bœuf étant populaire dans Yorkshire et l'est de l'Angleterre tandis que le saindoux est populaire dans le Lancashire. Les graisses animales ont des niveaux élevés en acides gras saturés et sont solides à température ambiante.

Le choix du type ou de mélange d'huiles utilisées pour la friture dépendra en outre de la perception et de l'acceptabilité du produit frit par le consommateur (odeur, texture, sensation en bouche, arrière-goût) .Des techniques issues de la formulation peuvent être appliquées pour optimiser la valeur nutritionnelle (composition en acide gras essentiels, b-carotène, antioxydants...etc) et la qualité organoleptique des mélanges en fonction des critères de stabilité, de coût et de disponibilité. A ce titre, on peut classer les huiles ou leurs mélanges en fonction de leurs indices de stabilité ou de leurs résistances à l'oxydation évaluée par des méthodes accélérées.

Une huile de friture doit donc être la moins polyinsaturée possible afin de prolonger sa qualité. les huiles riches en acides gras saturés sont les plus stables à la friture, donc ont une durée d'utilisation plus longue .

V. Processus de cuisson

V.1 Evaporation d'eau

La quantité de l'huile absorbée augmente en fonction de la quantité d'eau perdue au cours de la friture, puisque l'huile va occuper en partie l'espace laissé par l'évaporation d'eau .

V.2 Texture de l'aliment

La cuisson modifie la texture et la porosité de l'aliment précuit, peu importe le mode de pré-cuisson ou de blanchiment (à l'eau ou à l'huile). Ceci peut être expliqué par la porosité du produit, plus l'aliment est poreux, plus il absorbe de l'huile .

V.3 Température et temps de friture

La température de friture dépend du type de produit, de sa taille et de sa composition. Elle varie souvent de 120 à 190 °C. Des températures élevées d'huile (160- 190 °C) peuvent permettre le transfert rapide de la chaleur, un brunissement rapide et un temps de cuisson court. Pour cette raison, mettre une trop grande quantité de nourriture froide dans l'huile

chaude est préjudiciable à la qualité des produits et à l'efficacité du procédé car cela entraîne une diminution de la température de l'huile et un temps de cuisson plus long. Une augmentation de la température de l'huile déclenche une augmentation des vitesses de déshydratation et de réaction couplées. Par conséquent, des températures élevées vont limiter le temps de friture.

V.4 Ratio produit /huile

Le rapport produit/ huile doit être maintenu inférieur à 1 poids de produit pour 6 poids d'huile(1/6).Ceci permet de maintenir la température de l'huile à des niveaux de friture supérieurs à 130°C lors de l'immersion des aliments .

V.5 Traitement post –friture (refroidissement)

Les principaux changements dans la composition des aliments dus à la friture comprennent perte d'eau, absorption d'huile et formation d'acrylamide due à la réaction de Maillard qui sera déclenchée lorsque des matières alimentaires contenant le sucre réducteur et les protéines surtout à plus haute température. Le transfert de chaleur et de masse se fait par convection (dans la masse d'huile) et conduction (à l'intérieur de l'aliment) .

L'absorption de la majorité d'huile se produit au moment du refroidissement. L'égouttage rapide et mécanique de l'huile autour de l'aliment à la sortie du bain joue un rôle important sur la teneur finale en gras puisqu'elle réduit la quantité d'huile qui pourrait être absorbée au cours du refroidissement .

Prenons un exemple de l'absorption d'huile dans les frites, qui peut être divisée en trois parties :

- a) Huile interne : huile structurelle assimilée par les copeaux lors de la friture.
- b) Huile de surface absorbée : aspirée par les copeaux directement après extraction de la poêle.
- c) Huile de surface attachée: à la surface du produit frit pendant la phase de refroidissement,

V.6 Vieillessement de l'huile de friture

Plusieurs facteurs influencent le vieillissement de l'huile, ce qui rend difficile de déterminer le moment précis pour changer l'huile. Une huile usée est d'apparence foncée, épaisse ou visqueuse, peut contenir des dépôts et peut avoir un saveur acide. L'eau relâchée par les aliments lors de la friture attaque l'huile et libère des composés polaires plus susceptibles à l'oxydation et à la détérioration thermique qui s'accumulent au fil du temps.

La température critique à ne jamais atteindre ou dépasser est de 200°C. Pour chaque 10°C supérieur à 200°C atteints, l'huile vieillira jusqu'à deux fois plus vite.

VI. Dégradation des huiles de friture

Pendant la friture, diverses réactions provoquent un spectre des changements physiques et chimiques. En présence d'oxygène (de l'air ou du produit), humidité des aliments et à haute température, l'huile subit trois réactions: hydrolyse, oxydation, et polymérisation. Ce sont des réactions extrêmement complexes qui provoquent la formation de nombreux produits de polymérisations, dont plus de 400 ont été identifiés à des températures élevées lorsque l'apport d'oxygène est plutôt limité (comme dans le cas d'une «couverture de vapeur» produite à la surface de l'huile par l'eau qui s'est évaporé des aliments frits). Les principales réactions conduisent à une polymérisation plutôt qu'à une oxydation. Ces produits sont également formés entre les ingrédients alimentaires et l'huile, affectant le goût, le saveur et la durée de conservation des produits.

VI.1 Réactions d'oxydation

L'oxydation est le phénomène chimique qui fait rouiller les métaux, flétrir les légumes et les fruits, rancir les graisses. Il modifie le goût et la couleur des aliments.

L'oxydation fait partie d'une réaction d'oxydoréduction qui transfère des électrons d'une substance vers un agent oxydant. Cette réaction peut produire des radicaux libres qui entraînent des réactions en chaîne destructrices. Au contact de l'oxygène de l'air, il y a apparition d'arômes et de changement de couleur souvent indésirable dans les huiles de

friture ou dans les produit frits. Ces composés d'oxydation dérivent des hydro-péroxydes ; composés primaires de l'oxydation.

Les réactions en chaine responsables de leurs formations sont autocatalysées, car initiées par l'apparition de composés radicalaires issus eux- mêmes de l'oxydation des triglycérides du bain. Les cations métalliques comme le fer ou le cuivre peuvent initier et accélérer les réactions d'oxydation.

VI.2 Réactions de polymérisations

Elles produisent des réarrangements inter et intramoléculaires qui sensibilisent l'huile de fritures à l'oxydation et conduisent à l'augmentation de la viscosité apparente des huiles. Des composés semblables à la résine peuvent alors mousser à la surface du bain et sur les parois de la friteuse .

VI.3 Réactions d'hydrolyse

Ce sont loin les plus nombreuses dans les conditions normales de friture. Elles conduisent à la formation au contact de la vapeur d'eau d'acides gras libres, monoglycérides, di-glycéride et glycérol .Ces composés sont alors très sensibles aux réactions précédemment citées et leur produits seront responsables des principaux défauts de goût ou d'odeur. La présence de résidus de produit de nettoyage caustique favorise les réactions d'hydrolyse.

VI. 4 Facteurs influençant la dégradation

La dégradation des huiles de friture est fortement influencée par plusieurs facteurs physico-chimiques et environnementaux qui agissent souvent de manière simultanée et synergique.

La température constitue le facteur le plus déterminant. En effet, une élévation de la température accélère considérablement les réactions d'oxydation, d'hydrolyse et de polymérisation. Plus la température est élevée et maintenue sur une longue durée, plus la

vitesse de formation des composés de dégradation augmente. Des températures supérieures à 180°C favorisent notamment la rupture des triglycérides et la formation de composés secondaires toxiques tels que les aldéhydes et les hydrocarbures.

La durée d'utilisation de l'huile joue également un rôle essentiel. Une huile utilisée de manière prolongée subit une accumulation progressive de produits de dégradation. Chaque cycle de friture entraîne une altération supplémentaire de la structure chimique de l'huile, ce qui réduit sa stabilité et augmente sa viscosité. Cette accumulation peut conduire à une détérioration notable des propriétés organoleptiques des aliments frits, ainsi qu'à une diminution de la qualité nutritionnelle.

L'exposition à l'air, et plus précisément à l'oxygène, favorise les réactions d'oxydation lipidique. L'oxygène dissous dans l'huile réagit avec les acides gras insaturés pour former des radicaux libres, initiant ainsi une chaîne de réactions conduisant à la formation de peroxydes puis de composés secondaires. Ce phénomène est particulièrement important lorsque l'huile est laissée à l'air libre ou lorsqu'elle est fortement agitée.

L'humidité, provenant principalement de l'eau contenue dans les aliments, constitue un autre facteur aggravant. L'eau favorise les réactions d'hydrolyse des triglycérides, conduisant à la formation d'acides gras libres et de mono- et diglycérides. Ces composés augmentent la polarité de l'huile et accélèrent sa dégradation. De plus, la présence simultanée d'eau et de température élevée intensifie les réactions chimiques, rendant l'huile plus instable.

Enfin, d'autres facteurs secondaires peuvent intervenir, tels que la présence de résidus alimentaires carbonisés, qui agissent comme catalyseurs des réactions d'oxydation, ou encore la nature de l'huile elle-même, notamment sa richesse en acides gras insaturés. L'ensemble de ces facteurs contribue à la formation de composés potentiellement toxiques, ce qui souligne l'importance d'un contrôle rigoureux des conditions de friture.

VII. Qualité et contrôle des huiles

VII.1 Indicateurs de qualité

L'évaluation de la qualité des huiles de friture repose sur un ensemble d'indicateurs physico-chimiques permettant de suivre l'évolution de leur état au cours de l'utilisation. Ces paramètres sont essentiels pour apprécier le degré de dégradation et garantir la sécurité des produits alimentaires.

L'indice d'acidité est l'un des paramètres les plus couramment utilisés. Il mesure la quantité d'acides gras libres formés suite à l'hydrolyse des triglycérides. Une augmentation de cet indice traduit une dégradation de l'huile, souvent liée à la présence d'eau et à des températures élevées. Une huile avec un indice d'acidité élevé présente une altération du goût et une moindre stabilité thermique.

L'indice de peroxyde permet d'évaluer le niveau d'oxydation primaire de l'huile. Il correspond à la concentration en peroxydes et hydroperoxydes formés lors des premières étapes de l'oxydation lipidique. Bien que cet indice soit utile pour détecter le début de l'oxydation, il peut diminuer à un stade avancé de dégradation, car les peroxydes se décomposent en composés secondaires.

Le taux de composés polaires totaux est considéré comme l'un des indicateurs les plus fiables de la dégradation globale des huiles de friture. Ces composés incluent les produits d'oxydation, d'hydrolyse et de polymérisation. Leur accumulation traduit une altération avancée de l'huile. Dans de nombreux pays, des limites réglementaires sont fixées (généralement autour de 25 %) au-delà desquelles l'huile est considérée comme impropre à la consommation.

D'autres paramètres peuvent également être utilisés pour affiner l'évaluation de la qualité, tels que la viscosité, la couleur, l'indice d'iode ou encore la teneur en composés volatils. Ces indicateurs permettent une caractérisation plus complète de l'état de l'huile.

VII.2 Importance du contrôle

Le contrôle régulier de la qualité des huiles de friture est indispensable pour garantir la sécurité alimentaire et maintenir les propriétés organoleptiques des produits frits. En effet, l'utilisation d'une huile dégradée peut entraîner la formation de composés toxiques, altérer le goût des aliments et nuire à leur valeur nutritionnelle.

Le suivi des indicateurs de qualité permet de déterminer le moment optimal pour renouveler l'huile, évitant ainsi une utilisation excessive susceptible de compromettre la santé des consommateurs. Dans le contexte industriel, ce contrôle est souvent réalisé à l'aide de méthodes rapides, telles que des tests de mesure des composés polaires ou des capteurs électroniques, permettant une surveillance en temps réel.

Par ailleurs, le respect des normes et réglementations en vigueur est essentiel. Ces normes fixent des seuils limites pour différents paramètres afin d'assurer la sécurité des aliments. Le contrôle de la qualité des huiles s'inscrit donc dans une démarche globale de maîtrise des risques, intégrée aux systèmes de gestion de la qualité tels que HACCP.

Enfin, un bon contrôle contribue également à optimiser les coûts de production. En remplaçant l'huile au moment adéquat, il est possible d'éviter à la fois un gaspillage inutile et une dégradation excessive qui pourrait entraîner des pertes de qualité des produits.

VIII. Absorption d'huile par les aliments

VIII.1 Mécanismes d'absorption

L'absorption d'huile au cours de la friture est un phénomène complexe qui intervient principalement à deux étapes : pendant la cuisson et surtout lors du refroidissement. Pendant la friture, l'évaporation rapide de l'eau entraîne la formation d'une structure poreuse au niveau de la croûte. Cette structure agit comme une matrice capillaire capable de retenir l'huile.

Lors du retrait de l'aliment du bain de friture et pendant le refroidissement, la vapeur d'eau interne se condense, ce qui crée une dépression favorisant l'aspiration de l'huile dans les pores formés. Ce mécanisme explique pourquoi une part importante de l'huile est absorbée après la cuisson.

Plusieurs facteurs influencent ce phénomène. L'humidité initiale de l'aliment détermine la quantité de vapeur produite et donc la porosité finale. La structure et la densité de l'aliment jouent également un rôle, les matrices plus ouvertes favorisant une plus grande absorption. La surface spécifique, notamment dans le cas d'aliments découpés en fines portions, augmente les échanges et donc l'absorption. Enfin, la présence d'enrobages ou de panures peut agir comme une barrière partielle à la pénétration de l'huile.

VIII.2 Optimisation de l'absorption

La réduction de l'absorption d'huile constitue un objectif important, tant sur le plan nutritionnel qu'économique. La maîtrise des paramètres de friture permet de limiter ce phénomène. Une température suffisamment élevée favorise une formation rapide de la croûte, réduisant ainsi la pénétration d'huile. Toutefois, une température excessive peut accélérer la dégradation de l'huile et altérer la qualité du produit.

Le temps de friture doit également être optimisé afin d'éviter une exposition prolongée qui favoriserait l'absorption. L'utilisation d'enrobages adaptés, comme les panures ou les films comestibles, permet de limiter la diffusion de l'huile vers l'intérieur de l'aliment. Enfin, des techniques telles que l'égouttage ou l'utilisation de papiers absorbants après friture contribuent à réduire la quantité d'huile retenue en surface.

IX. Caractéristiques des produits frits

IX.1 Aspect sensoriel

Les produits frits se caractérisent par une combinaison de propriétés sensorielles très appréciées. La formation d'une croûte croustillante en surface contraste avec un intérieur

moelleux, créant une texture agréable en bouche. La couleur dorée résulte principalement des réactions de Maillard entre les sucres réducteurs et les acides aminés, ainsi que de la caramélisation des sucres.

Les arômes développés au cours de la friture sont complexes et proviennent à la fois des réactions thermiques et de l'huile utilisée. La qualité de l'huile influence directement le goût final, une huile dégradée pouvant conférer des saveurs indésirables.

IX.2 Valeur nutritionnelle

La friture modifie significativement la valeur nutritionnelle des aliments. L'absorption d'huile augmente la teneur en lipides et donc la densité énergétique du produit. Cette augmentation dépend du type d'aliment, des conditions de friture et de la nature de l'huile utilisée.

Par ailleurs, la composition des acides gras peut être modifiée, notamment en cas d'oxydation ou de dégradation thermique de l'huile. La friture peut également entraîner la perte de certaines vitamines thermosensibles, en particulier les vitamines hydrosolubles et certains composés antioxydants.

X. Aspects nutritionnels et sanitaires

X.1 Composés potentiellement toxiques

La cuisson à haute température favorise la formation de certains composés indésirables. L'acrylamide, formé principalement dans les aliments riches en amidon, résulte de la réaction de Maillard et est considéré comme potentiellement cancérigène. De plus, l'oxydation des lipides conduit à la formation d'aldéhydes et d'autres composés secondaires susceptibles d'avoir des effets néfastes sur la santé.

La présence de ces composés dépend des conditions de friture, de la durée d'exposition à la chaleur et de la qualité de l'huile utilisée.

X. 2 Précautions nutritionnelles

Afin de limiter les risques, il est recommandé de consommer les produits frits avec modération et de privilégier des huiles stables à la chaleur. L'application de bonnes pratiques de friture, telles que le contrôle de la température et le renouvellement régulier de l'huile, permet de réduire la formation de composés toxiques.

XI. Bonnes pratiques de friture

La maîtrise des conditions de friture est essentielle pour garantir la qualité des produits et la sécurité alimentaire. Il est important de maintenir une température stable, généralement comprise entre 160 et 180°C, afin d'assurer une cuisson optimale sans dégradation excessive de l'huile.

La filtration régulière permet d'éliminer les résidus alimentaires qui peuvent accélérer les réactions de dégradation. Il est également recommandé de limiter le nombre de cycles de réutilisation de l'huile et de la remplacer dès que les indicateurs de qualité dépassent les seuils acceptables. Enfin, le stockage de l'huile à l'abri de la lumière, de l'air et de l'humidité contribue à préserver sa stabilité.

XII. Applications industrielles

XII.1 Friture continue

La friture continue est largement utilisée dans l'industrie agroalimentaire pour la production à grande échelle. Elle permet un contrôle précis des paramètres de cuisson, tels que la température, le temps de séjour et la circulation de l'huile. Ce procédé garantit une homogénéité des produits et une qualité constante.

XII.2 Friture discontinue

La friture discontinue est généralement utilisée dans des contextes artisanaux ou pour des productions de plus petite échelle. Elle offre une plus grande flexibilité, mais

nécessite un contrôle rigoureux des conditions de cuisson afin d'éviter les variations de qualité et les risques de dégradation de l'huile.

XIII. Innovations et alternatives

XIII.1 Friture sous vide

La friture sous vide est une technologie innovante qui consiste à cuire les aliments à pression réduite. Cette technique permet de diminuer la température de cuisson, limitant ainsi l'oxydation des lipides et la formation de composés toxiques. Elle permet également de mieux préserver la couleur, la texture et les qualités nutritionnelles des aliments.

XIII.2 Air fryer

La cuisson à l'air chaud, communément appelée air fryer, utilise une circulation d'air chaud pour cuire les aliments avec une quantité minimale d'huile. Cette méthode permet d'obtenir des produits croustillants tout en réduisant significativement l'apport lipidique, répondant ainsi aux attentes des consommateurs soucieux de leur santé.

X. IV Conclusion

La friture est une technique de cuisson complexe impliquant des phénomènes thermiques, chimiques et structuraux. La qualité de l'huile et le contrôle des conditions de cuisson sont essentiels pour obtenir des aliments présentant de bonnes caractéristiques sensorielles tout en limitant les impacts négatifs sur la santé. L'application de bonnes pratiques et le développement de technologies innovantes permettent aujourd'hui d'améliorer la qualité des produits frits et de répondre aux exigences nutritionnelles et sanitaires modernes.

Chapitre 3 : Les isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA)

I. Généralités

Les acides linoléiques conjugués (ALC ou CLA, Conjugated Linoleic Acids) constituent une famille d'isomères de l'acide linoléique (C18 :2) caractérisés par la conjugaison de leurs doubles liaisons. Ils suscitent un intérêt croissant en raison de leurs propriétés biologiques et de leurs effets potentiels sur la santé humaine.

Les CLA ont été identifiés pour la première fois dans les années 1970, lors de recherches sur les composés présents dans la viande de ruminants et les produits laitiers, qui semblaient avoir des effets bénéfiques sur la santé.

Leur particularité structurale (doubles liaisons conjuguées, pouvant être en configuration cis ou trans) a rapidement attiré l'attention des biochimistes, car cette conjugaison n'existe pas dans l'acide linoléique « classique », où les doubles liaisons sont isolées.

Les CLA sont produits naturellement dans le rumen des ruminants par biohydrogénation microbienne de l'acide linoléique présent dans l'herbe et les fourrages. Ce processus aboutit à la formation de plusieurs isomères, dont les plus abondants et étudiés sont le cis-9, trans-11 (acide ruménique) et le trans-10, cis-12.

L'intérêt pour les CLA s'est accru dans les années 1980 et 1990, lorsque des études ont suggéré qu'ils pouvaient avoir des effets anticancéreux, anti-athérogènes et moduler le métabolisme lipidique.

Les CLA sont présents principalement dans la viande et les produits laitiers issus des ruminants, car seuls ces animaux possèdent la flore bactérienne capable de les produire naturellement.

Avec la modification des pratiques d'élevage (alimentation moins riche en herbe), la teneur en CLA des produits animaux a diminué, ce qui a conduit à la production de CLA par synthèse industrielle (à partir d'huiles végétales comme le carthame ou le tournesol) pour les compléments alimentaires.

Aujourd'hui, 28 isomères différents de CLA ont été identifiés, mais seuls quelques-uns présentent un intérêt biologique majeur, notamment le c9,t11 et le t10,c12.

II. Source des CLA

Les principales sources naturelles (**Tableau VII**) de CLA, pour les êtres humains, sont les produits de ruminants, tels que la viande, le lait et les autres produits laitiers qui en dérivent. Ceci est dû à la présence de l'acide linoléique isomérase chez les bactéries du rumen qui catalyse l'isomérisation de l'acide linoléique en CLA.

Tableau V : Les isomères conjugués de l'acide linoléique dans les aliments

Aliments	mg/g	Aliments	mg/g <u>graisse</u>
<i>Produits laitiers</i>		<i>Viande/</i>	
Lait condense	7,0	<i>Poisson</i>	
Colby	6,1	Agneau	5,8
Matière grasse du		Bœuf	
Beurre	6,1	Hachée	4,3
Ricotta	5,6	Veau	2,7
Lait homogénéisé	5,5	Dinde	
Babeurre	5,4	Hachée	2,6
Fromage fondu		Poulet	0,9
Américain	5,0	Porc	0,6
Mozarella	4,9	Jaune	
Yogurt nature	4,8	d'œuf	0,6
Yogurt Custard	4,8	Saumon	0,3
Beurre	4,7		
Crème acide	4,6	<i>Huiles</i>	
Cottage	4,5	<i>Végétales</i>	
Yogurt à faible teneur		Carthame	0,7
en gras	4,4	Tournesol	0,4
Lait à 2% MG	4,1	Arachides	0,2
Cheddar medium	4,1	Olives	0,0
Crème glacée	3,6		
Parmesan	3,0		
Yogurt glacé	2,8		

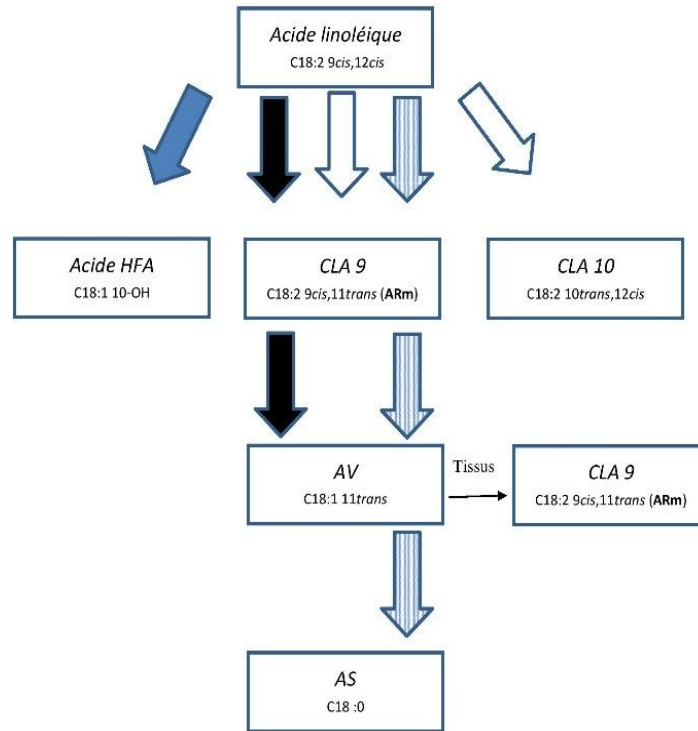


Figure 4 : Métabolisme de l'acide linoléique chez les bactéries fécales de l'homme

III. Structure et classification des CLA

Les CLA sont des isomères géométriques et positionnels de l'acide linoléique (C18:2), possédant deux doubles liaisons conjuguées (c'est-à-dire séparées par une seule liaison simple).

Il existe 28 isomères différents, selon la position (par exemple 7,9 ; 8,10 ; 9,11 ; 10,12 ; 11,13) et la configuration (cis ou trans) des doubles liaisons.

Les quatre formes géométriques possibles sont : cis,trans ; trans,cis ; cis,cis ; trans,trans.

Ci-dessous un tableau synthétisant les principaux isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA), en tenant compte des positions des doubles liaisons et de leur configuration géométrique (cis ou trans). Les positions classiques sont 7,9 ; 8,10 ; 9,11 ; 10,12 ; 11,13, chaque double liaison pouvant être en configuration cis (c) ou trans (t), ce qui donne 4 isomères géométriques par paire de positions

Tableau VI: principaux isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA)

Position des doubles liaisons	Isomère cis,cis	Isomère cis,trans	Isomère trans,cis	Isomère trans,trans
7,9	c7,c9	c7,t9	t7,c9	t7,t9
8,10	c8,c10	c8,t10	t8,c10	t8,t10
9,11	c9,c11	c9,t11	t9,c11	t9,t11
10,12	c10,c12	c10,t12	t10,c12	t10,t12
11,13	c11,c13	c11,t13	t11,c13	t11,t13

Au total, il existe théoriquement 20 isomères principaux (5 positions \times 4 configurations), mais certains documents évoquent jusqu'à 28 isomères en tenant compte de toutes les variantes possibles.

Dans la nature et dans l'alimentation, seuls quelques isomères sont présents en quantités significatives. Les isomères les plus étudiés et biologiquement actifs (**Figure 8**) sont :

- cis-9, trans-11 (c9,t11), appelé aussi acide ruménique (majoritaire dans les produits laitiers et la viande de ruminants)
- trans-10, cis-12 (t10,c12)

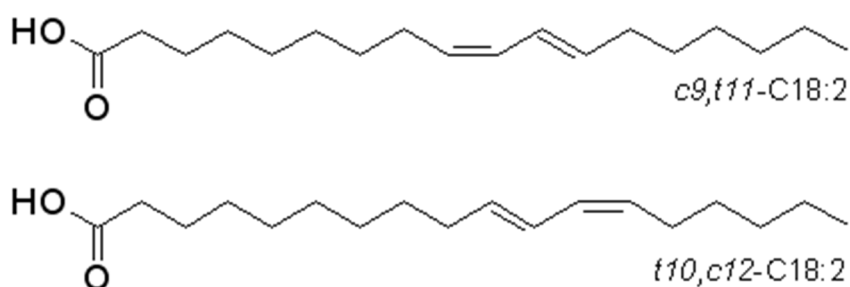


Figure 5: Structures chimiques des deux isomères c9,t11 et t10,c12 de l'acide linoléique

IV. Propriétés physico-chimiques

Les isomères CLA diffèrent de l'acide linoléique par la position et la configuration de leurs doubles liaisons.

Cette structure unique explique leurs propriétés biologiques spécifiques, notamment leur interaction avec les enzymes du métabolisme lipidique.

IV. 1. Différences structurales

Les CLA se distinguent de l'acide linoléique standard par :

IV. 1. 1. Conjugaison des doubles liaisons : Les doubles liaisons sont séparées par une seule liaison simple (conjuguées), contrairement aux doubles liaisons isolées de l'acide linoléique ;

IV. 1. 2. Isométrie géométrique : Configuration mixte cis-trans (ex. cis-9, trans-11 ou trans-10, cis-12) vs configuration cis-cis exclusive pour l'acide linoléique ;

IV. 1. 3. Variabilité positionnelle : Les doubles liaisons peuvent se situer entre les carbones 7-9, 8-10, 9-11, etc., selon l'isomère.

La structure conjuguée et les configurations cis-trans modifient radicalement l'affinité pour les enzymes du métabolisme lipidique. Le tableau IX montre l'impact des CLA sur les interactions enzymatiques.

Tableau VII : Effets des principaux isomères de CLA sur les enzymes et processus du métabolisme lipidique

Enzyme/Processus	Effet des CLA vs acide linoléique	Isomère impliqué
Lipoprotéine lipase	Inhibition de l'activité → réduction absorption AG	trans-10, cis-12
Carnitine palmitoyltransférase I	Augmentation activité → stimulation β -oxydation	trans-10, cis-12
Acétyl-CoA carboxylase	Modulation de la lipogenèse hépatique	trans-10, cis-12

IV. 2. Mécanismes biologiques découlant des propriétés structurales

IV. 2. 1. Modulation de la lipolyse

- Les isomères trans-10, cis-12 CLA augmentent l'hydrolyse des triglycérides via l'activation de la lipase hormonosensible (LHS).
- Inhibition compétitive de la stéaroyl-CoA désaturase, limitant la synthèse d'acides gras monoinsaturés.

IV. 2. 2. Interaction avec les récepteurs nucléaires

- Liaison aux récepteurs PPAR γ , inhibant la différenciation des préadipocytes en adipocytes matures.
- Régulation de l'adiponectine, influençant la sensibilité à l'insuline.

IV. 2. 3. Résistance à l'oxydation mitochondriale

- La conjugaison des doubles liaisons rend les CLA moins susceptibles à la β -oxydation complète, favorisant leur accumulation dans les membranes cellulaires.

V. Méthodes d'Analyse et de Caractérisation des CLA

L'analyse des isomères conjugués de l'acide linoléique (CLA) dans des matrices complexes (lait, viandes, huiles, etc.) nécessite des méthodes précises pour séparer, identifier et quantifier chaque isomère, en raison de leur diversité structurale et de leur présence à l'état de traces.

V. 1. Techniques Chromatographiques

a. Chromatographie en Phase Gazeuse (GC)

Principe : Séparation des isomères CLA sous forme de dérivés méthyliques (FAME) selon leur volatilité et leur interaction avec la phase stationnaire de la colonne.

Détection : Utilisation de détecteurs à ionisation de flamme (FID) ou couplage à la spectrométrie de masse (GC-MS) pour l'identification précise des isomères.

Limites : Difficulté à séparer certains isomères géométriques et positionnels, nécessitant parfois des colonnes spécifiques ou des étapes de pré-fractionnement.

b. Chromatographie Liquide Haute Performance (HPLC)

Principe : Séparation des isomères CLA, souvent sous forme de FAME, sur des colonnes imprégnées d'ions argent (Ag⁺), qui discriminent selon la configuration cis/trans et la position des doubles liaisons.

Détection : Détecteurs UV (absorbance à 231 nm, caractéristique des diènes)

conjugués) ou couplage à la spectrométrie de masse (LC-MS) pour une identification structurale complémentaire.

Avantages : Excellente résolution des isomères, possibilité de quantification directe par intégration des aires sous les pics, et validation par co-injection de standards de référence.

c. Autres techniques chromatographiques

Chromatographie sur couche mince (CCM) : Utilisée pour le criblage rapide et l'analyse qualitative, mais moins précise pour la quantification.

Combinaison GC/HPLC : Parfois utilisée pour obtenir à la fois la quantification totale (GC) et la distribution isomérique (HPLC).

V. 2. Techniques Spectroscopiques

a. Spectroscopie UV-Visible

Utilité : Les CLA présentent une absorption caractéristique à 231-234 nm, permettant leur détection lors de l'élution chromatographique.

Limite : Ne permet pas de différencier tous les isomères, mais utile pour la quantification globale.

b. Spectroscopie Infrarouge (IR) et Résonance Magnétique Nucléaire (RMN)

Spectroscopie IR : Permet d'identifier la présence de doubles liaisons conjuguées par des bandes spécifiques, mais manque de sélectivité pour différencier les isomères.

RMN (notamment ¹³C-RMN) : Offre une identification fine des isomères positionnels et géométriques, mais nécessite des quantités importantes d'échantillon et reste peu utilisée en routine.

V. 3. Identification et Quantification dans les Matrices Complexes

Identification : Basée sur la comparaison des temps de rétention chromatographiques avec des standards, l'analyse des spectres UV et, si besoin, la confirmation par spectrométrie de masse.

Quantification : Réalisée par intégration des aires sous les pics chromatographiques, avec utilisation de courbes d'étalonnage obtenues à partir de standards purs.

Validation : Les méthodes sont validées en termes de linéarité, limite de détection,

précision (RSD < 7,5 % pour les principaux isomères) et taux de récupération (environ 96 % pour le cis-9,trans-11 CLA dans le lait).

Effet matrice : Dans les matrices complexes (lait, viande, huiles), il est essentiel de valider la méthode pour chaque matrice afin de garantir l'absence d'interférences et la fiabilité des résultats.

VI. Effets physiologiques et métaboliques des CLA

De nombreuses études sur les effets physiologiques et métaboliques des CLA ont été réalisées *in vitro*, mais celles ayant retenu le plus d'attention étaient les études réalisées *in vivo* sur l'animal. Des études chez l'Homme ont été réalisées avec des CLA synthétiques ou des mélanges de CLA ; ceci ne pourrait guère aider à établir des évidences scientifiques relatives à leur effet santé .

VI. 1. Effet anti-obésité

Les effets des CLA sur l'obésité sont variables selon l'espèce animale. Cependant, l'effet anti-obésité a été attribué à l'isomère CLA 10*trans*,12*cis*. Les mécanismes cellulaires impliqués dans l'effet bénéfique des CLA sur l'obésité ne sont pas clairement établis (**Figure 2**). L'ensemble des études *in vitro*, menées sur des lignées pré-adipocytaires ou sur des cultures primaires de pré-adipocytes a montré que l'isomère CLA 10*trans*,12*cis* réduit l'entrée des acides gras *via* une forte inhibition de l'activité de la lipoprotéine lipase (LPL). Cet isomère diminue aussi l'entrée du glucose et la voie de la lipogenèse (diminution de la stéaroyl-CoA désaturase 1).

Différents travaux ont rapporté également que le stockage lipidique dans les adipocytes pourrait aussi être limité par une augmentation de la lipolyse et de l'oxydation des acides gras par les CLA. En outre, l'isomère CLA 10*trans*,12*cis* inhibe le processus de différenciation adipocytaire *via* une diminution de l'expression du *Peroxisome proliferator-activated receptor* PPAR γ . Ainsi, les multiples effets sur la différenciation et le métabolisme adipocytaire concourent à limiter le stockage lipidique adipocytaire.

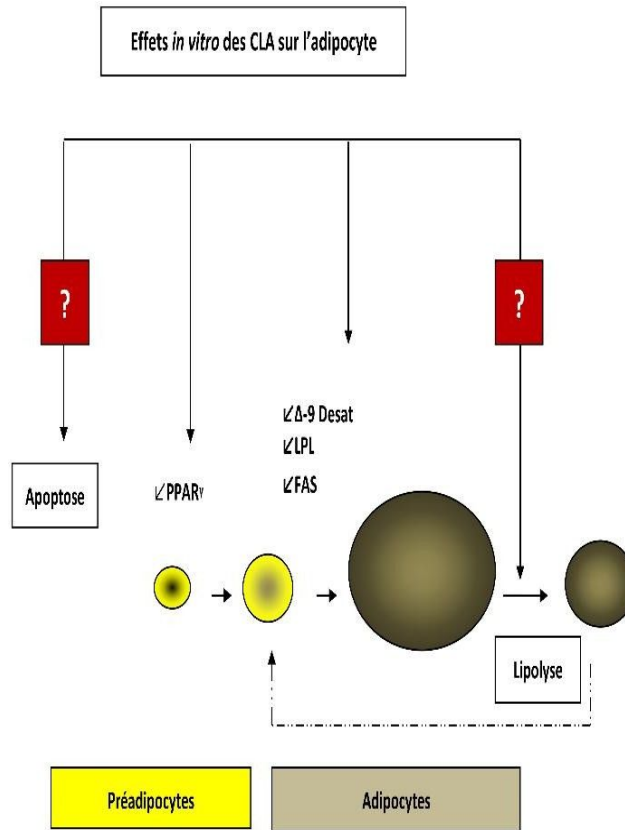


Figure 6 : Multiples cibles de l'isomère CLA 10*trans*,12*cis* sur la différenciation et le métabolisme de l'adipocyte

Des études *in vitro* suggèrent que l'isomère CLA 10*trans*,12*cis* provoque une apoptose des pré-adipocytes.

Toutefois, les résultats *in vivo* ne plaident pas en faveur de cet effet apoptotique puisque le nombre d'adipocytes reste identique chez le rat. Il est important de noter qu'il n'existe pas de consensus sur un effet bénéfique des CLA sur le contrôle de la masse grasse chez l'homme.

VI. 2. Propriétés hypocholestérolémiantes

Les études réalisées chez l'Homme rapportant les effets des CLA (supplémentation de ~3200 mg/j de 50:50 du mélange CLA 9*cis*,11*trans* et CLA 10*trans*,12*cis* ou le CLA 10*trans*,12*cis* seul) sur les concentrations du cholestérol sous ses différentes formes et publiées jusqu'en 2021 demeurent controversées et révèlent, soit un effet positif non significatif, soit aucun effet. Néanmoins, les

premières observations positives sur l'effet hypocholestérolémiant de l'isomère CLA 10*trans*,12*cis* ont été rapportées dans certains travaux chez le hamster ou le rat. Le mécanisme par lequel les CLA sont considérés avoir un effet hypocholestérolémiant réside dans le fait qu'ils répriment le transport (l'absorption) du cholestérol de l'intestin, en réponse à un effet préalable bloqueur de l'activité de l'acyl coenzyme A: cholestérol acyltransférase (ACAT) intestinale. De plus, sachant que l'acide linoléique et les acides gras insaturés de type $\omega 3$ pourraient moduler l'expression du gène CD36 (Cluster de différenciation-36) sur la surface cellulaire des macrophages, les globules blancs ont aussi servi de modèle pour mieux appréhender le métabolisme du cholestérol en présence de CLA.

L'étude de Ringseiss, réalisée sur des macrophages de souris, a montré que la présence à la fois de CLA de types 9*cis*,11*trans* et 10*trans*,12*cis* réduisaient l'accumulation du cholestérol. Cette observation a été expliquée par une élévation de l'expression du CD36 et de l'ABCA1 (*ATP binding cassette protein A1*). Le métabolisme du cholestérol et les influx et les efflux de lipides dans les macrophages sont aussi contrôlés par les récepteurs PPAR γ . Il semblerait que les activateurs de type PPAR γ sont susceptibles de réduire l'accumulation de cholestérol dans les macrophages grâce à l'activation des gènes impliqués dans l'homéostasie du cholestérol.

VI. 3. Propriétés antidiabétiques et immunomodulatrices

Une étude chez le rat *Zucker*, un modèle animal utilisé pour étudier le diabète de type 2, a révélé que 1,5% (p/p) de CLA (mélange d'isomères) régule l'hyperinsulinémie et l'hyperglycémie après 14 jours de traitement. Dans une étude récente de Cordoba-Chacon *et al*, l'incorporation de l'isomère CLA 10*trans*,12*cis*, dans un régime pauvre en gras, chez des souris adultes, régule la glycémie, mais entraîne une résistance à l'insuline et ceci en réponse à la perte drastique de masse grasse.

Les CLA moduleraient la production d'interleukines (IL), hormones du système immunitaire chargées de la communication entre les lymphocytes et impliquées dans la régulation de la réponse immunitaire. *In vitro*, les CLA augmentent l'activité cytotoxique et la prolifération des lymphocytes ainsi que

l'activité bactéricide des macrophages, mais diminuent la production IL-2 par les lymphocytes et l'activité phagocytaire des macrophages.

VI. 4. Effets anti-athérosclérotique et anti-cancérigène

Plusieurs études chez les animaux ont montré que les CLA présentent un effet antiathérogène. En effet, des régimes riches en CLA (généralement un mélange d'isomères ou l'acide ruménique seul) administrés à des lapins provoquent une diminution de la triglycéridémie et du LDL-Cholestérol, ainsi qu'une réduction significative des dépôts athéromateux et de l'athérosclérose préétablie. Par ailleurs, il a été rapporté que la consommation de CLA inhibe l'initiation de la cancérogénèse et de la tumorigénèse. Selon des données récentes, le CLA 9*cis*,11*trans* empêche la prolifération des cellules cancéreuses mammaires. Toutefois, d'autres isomères de CLA semblent posséder un effet puissant contre la propagation des cellules cancéreuses du côlon.

VI. 5. Effet antimicrobien des acides linoléique, α -linoléique et des CLA

Les acides linoléique et α -linoléique ont montré une activité bactéricide envers *L. monocytogenes*. Ces deux acides gras diminuent la capacité invasive de ce pathogène. L'acide linoléique libre semble être susceptible d'inhiber la croissance des bactéries de rumen productrices de CLA. La même sensibilité pourrait être observée sur la flore intestinale du tube digestif humain. C'est pourquoi, la production de CLA à partir de l'acide linoléique par les bactéries intestinales est aussi considérée comme un mode de détoxification bactérienne.

Il a été suggéré que les acides gras exercent leur action antimicrobienne au niveau de la membrane cytoplasmique. Par conséquent, l'activité antimicrobienne d'AL est l'une des difficultés dans le développement à grande échelle de CLA bactériens, étant donné qu'une concentration élevée en acide linoléique, ou des conditions de culture aérobies, inhibent la bio-hydrogénation de l'acide linoléique.

VII. Utilisation industrielle et suppléments alimentaires des CLA

L'utilisation industrielle des CLA repose sur des procédés de formulation avancés garantissant la pureté et la stabilité des isomères principaux. Les suppléments alimentaires à base de CLA sont largement commercialisés, mais leur efficacité et leur sécurité dépendent fortement de la composition isomérique et du respect des doses recommandées. Une vigilance particulière est requise pour les populations à risque, et l'avis d'un professionnel de santé est conseillé avant toute supplémentation.

VII. 1. Formulation et Commercialisation des CLA

a. Procédés de formulation

Origine et extraction : Les CLA (acides linoléiques conjugués) utilisés dans l'industrie sont principalement extraits d'huiles végétales riches en acide linoléique, comme l'huile de carthame, de tournesol ou de maïs, par des procédés de distillation moléculaire et d'isomérisation contrôlée.

Composition isomérique : Les formulations industrielles contiennent généralement deux isomères principaux : le c9,t11 (acide ruménique) et le t10,c12, dans des proportions proches de 40-45 % chacun, le reste étant constitué d'autres isomères minoritaires.

Formes galéniques : Les CLA sont commercialisés sous forme de capsules, gélules ou huiles, souvent associés à d'autres ingrédients (antioxydants, agents de texture).

Contrôle qualité : Les fabricants veillent à la pureté, à la stabilité et à la traçabilité des lots, en utilisant des procédés de dosage précis et des analyses chromatographiques pour garantir la composition isomérique et la sécurité du produit fini.

b. Commercialisation

Marché cible : Les suppléments de CLA sont principalement destinés à la gestion du poids, à la définition musculaire et à la santé métabolique, ciblant les sportifs, les personnes en surpoids ou soucieuses de leur composition corporelle.

Marques et brevets : Les formules brevetées comme Tonalin® ou Clarinol® sont issues d'huile de carthame et garantissent une composition standardisée en isomères.

Réglementation : Les CLA sont considérés comme des compléments alimentaires et doivent respecter les réglementations en vigueur concernant la sécurité, l'étiquetage et

la publicité. Les doses recommandées varient selon les pays, mais il est généralement conseillé de ne pas dépasser 3 à 6 g/jour.

VII. 2. Efficacité et Sécurité des Suppléments selon la Composition Isomérique

a. Efficacité

Effets attendus : Les études suggèrent que les CLA peuvent favoriser la réduction de la masse grasse, préserver la masse musculaire et, dans certains cas, améliorer le profil lipidique sanguin.

Rôle des isomères : L'isomère t10,c12 est associé à la réduction de la masse grasse, mais aussi à des effets métaboliques indésirables à forte dose.

L'isomère c9,t11 aurait des effets anti-inflammatoires et neuroprotecteurs, mais son impact sur la composition corporelle est moins marqué.

Variabilité des résultats : Les bénéfices observés sont modestes et variables selon la dose, la durée de la supplémentation, la population étudiée et la composition isomérique du produit.

b. Sécurité

Effets secondaires courants : Troubles digestifs légers (nausées, diarrhées), fatigue transitoire, généralement en début de supplémentation.

Risques métaboliques : L'isomère t10,c12, à forte dose, peut augmenter la résistance à l'insuline, le stress oxydatif et, dans certains cas, détériorer la fonction endothéliale⁷²⁸.

L'isomère c9,t11, bien que considéré comme plus sûr, peut aussi augmenter le stress oxydatif et la glycémie chez certains sujets sensibles.

Profil de sécurité global : Les mélanges équilibrés (50/50) des deux isomères sont généralement bien tolérés à court terme (jusqu'à 6 g/jour), mais la prudence s'impose pour les personnes à risque (diabète, maladies cardiovasculaires).

Recommandations : Il est conseillé de respecter les doses recommandées, de privilégier les produits de qualité contrôlée et de consulter un professionnel de santé avant toute supplémentation, surtout en cas de pathologie chronique ou de prise de médicaments.

VIII. Perspectives de Recherche et Innovations sur les CLA

Les perspectives de recherche sur les CLA sont particulièrement dynamiques, avec l'exploration de nouveaux champs d'application comme la santé osseuse, la modulation du microbiote et la performance sportive. L'avenir des suppléments de CLA repose sur une meilleure compréhension des effets spécifiques à chaque isomère et sur l'optimisation des formulations pour répondre aux besoins de différentes populations, tout en garantissant sécurité et efficacité.

VIII. 1. Nouveaux Champs d'Application

Santé osseuse

Les recherches récentes s'intéressent au potentiel des CLA dans la prévention de la perte osseuse et l'amélioration de la densité minérale osseuse, notamment chez les populations à risque comme les femmes ménopausées ou les personnes âgées. Les études animales suggèrent que certains isomères de CLA, en particulier le c9,t11, pourraient stimuler la formation osseuse et réduire la résorption, probablement via une modulation de l'inflammation et du métabolisme du calcium. Toutefois, les données cliniques humaines restent limitées et parfois contradictoires, ce qui justifie la poursuite d'essais contrôlés à long terme pour valider ces effets et préciser les mécanismes impliqués.

Microbiote intestinal

Un autre axe innovant concerne l'impact des CLA sur la composition et la fonction du microbiote intestinal. Des travaux montrent que les CLA pourraient moduler la diversité bactérienne, favoriser la croissance de bactéries bénéfiques (comme les bifidobactéries) et réduire l'inflammation intestinale. Cette interaction pourrait expliquer certains effets métaboliques et immunitaires observés avec la supplémentation en CLA. Les recherches visent à mieux comprendre les relations entre les différents isomères de CLA, le microbiote et la santé globale, ouvrant la voie à des applications en prévention des maladies métaboliques et inflammatoires.

Performance sportive

L'intérêt pour les CLA dans le domaine de la performance sportive s'est accru, notamment pour leur capacité potentielle à favoriser la réduction de la masse grasse tout en préservant la masse musculaire. Certaines études suggèrent que la supplémentation en CLA pourrait améliorer la composition corporelle, la récupération musculaire et la performance chez les sportifs, bien que les résultats restent variables selon la dose, la durée et la composition isomérique. Les recherches actuelles cherchent à identifier les profils d'athlètes et les protocoles de supplémentation les plus efficaces, tout en évaluant la sécurité à long terme.

VIII. 2. Approches Différenciées selon les Isomères et Optimisation des Formulations

La diversité structurale des CLA impose une approche différenciée pour chaque isomère, car leurs effets biologiques peuvent être opposés ou complémentaires. Par exemple, l'isomère t10,c12 est principalement associé à la réduction de la masse grasse, mais il peut aussi induire des effets métaboliques indésirables à forte dose, tandis que le c9,t11 présente des propriétés anti-inflammatoires et pourrait être plus sûr pour une utilisation prolongée.

Les innovations en formulation visent à optimiser le ratio des isomères dans les suppléments, à améliorer la biodisponibilité et à limiter les effets secondaires. Des recherches portent également sur l'encapsulation des CLA pour une libération ciblée, l'association avec d'autres nutriments (antioxydants, probiotiques) et l'adaptation des formulations à des populations spécifiques (enfants, personnes âgées, sportifs). L'objectif est de maximiser les bénéfices santé tout en minimisant les risques, grâce à une personnalisation des mélanges isomériques et à une validation scientifique rigoureuse.

Références bibliographiques

- Abaza L., Msalem M., Daoud D., and Zarrouk M.** 2002. Caractérisation des huiles de sept variétés d'olivier tunisiennes. *Oléagineux Corps gras Lipides*, 9 (2) : 9-174.
- AitYacine Z., Serhrouchni M. and Hilali S.** 2001. Evolution de la composition acide de l'huile d'olive à différents stades de la maturité des olives. Cas du Périmètre du Tadla-Maroc. *Olivae*, 94 : 51-53.
- Ajana H., El Antari A. and Hafidi A.** 1999. Evolution of biometric parameters and chemical composition of olives from the Moroccan *Picholine* variety during fruit ripeness. *Grasasy Aceites*, 50 (1) : 1-6.
- Angerosa F. and Di Giovacchino L.** 1996. Natural antioxidants of virgin olive oil obtained by two and tri-phase centrifugal decanters. *Grasasy Aceites*, 47 (4) : 247-254.
- Angerosa F., Mostallino R., Basti C. and Vito R.** 2001. Influence of malaxation temperature and time on the quality of virgin olive oils. *Food Chemistry*, 72 : 19-28.
- Angerosa F., Campestre C., Giansante L., and Boskou D.** 2006. Olive Oil: Chemistry and Technology. *American Oil Chemists Society*, 172
- Aparicio R., and Luna G.** 2002. Characterisation of monovarietal virgin olive oils. *European Journal of Lipids Science and Technology*, 104 : 1-12.
- Aparicio R., and Harwood, J.** 2013. *Manuel de l'huile d'olive* (pp. 431-478). Boston, MA, États-Unis :: Springer.
- Aparicio Ruiz, R., García González, D. L., Oliver Pozo, C., Tena N., Morales M. T., and Aparicio R.** 2016. Phenolic profile of virgin olive oils with and without sensory defects: Oils with non-oxidative defects exhibit a considerable concentration of phenols. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118 (2) : 299-307.
- Asokapandian, S., Swamy, G. J., & Hajjul, H.** (2020). Deep fat frying of foods: A critical review on process and product parameters. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(20), 3400-3413.
- Assmann G. and Wahrburg U.** 1999. Effets des composants mineurs de l'huile d'olive sur la santé. Institut de recherche sur l'athérosclérose, Université de Mûnste, Allemagne : 1-8.

Baccouri B., BenTemime S., Campeol E., Cioni P. L., Daoud D. and Zarouk M. 2007. Application of solid-phase microextraction to the analysis of volatile compounds in virgin olive oils from five new cultivars. *Food Chemistry*, 102 : 850-856.

Baccouri O., Cerretani L., Bendini A., Lercker G., Zarrouk M. and Daoud Ben Miled D. 2008 b. Phenol content as correlated to antioxidant activity and gustative characteristics of Tunisian monovarietal virgin olive oils. *La Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, 85 : 189–

Banni, S. (2002). Conjugated linoleic acid metabolism. *Current opinion in lipidology*, 13(3), 261-266.

Belury, M. A. (2002). Dietary conjugated linoleic acid in health: physiological effects and mechanisms of action. *Annual review of nutrition*, 22(1), 505-531.

Bhattacharya, A., Banu, J., Rahman, M., Causey, J., and Fernandes, G. (2006). Biological effects of conjugated linoleic acids in health and disease. *The Journal of nutritional biochemistry*, 17(12), 789-810.

Bazina, N., Ahmed, T., Almdaaf, M., Abu Hallalah, H. M. O., and Jibia, S. (2025). Chemical Changes in Deep-Fat Frying: Reaction Mechanisms, Oil Degradation, and Health Implications. *Food Science & Nutrition*, 13(10), e70969.

Calabriso N., Scoditti E., Pellegrino M. and Carluccio MA 2015. Huile d'olive. Dans *Le régime méditerranéen* (pp. 135-142). Presse académique.

Caselli S., Modi G., Nizzi Grifi Fand Fiorino P. 1993. Variabilité de la composition en Acides gras, en stérols et en alcools de l'huile d'olive de cultivars de la Toscane. *Olivae*, 47 : 46-50.

Çavusoglu A. and Oktar A. 1994. Les effets des facteurs agronomiques et des conditions de stockage avant la mouture sur la qualité de l'huile d'olive. *Olivae*, 52 : 18-24.

Chen, Y., Xiao, J., Zhu, X., Fan, X., Peng, M., Mu, Y., and Zhou, M. (2025). Exploiting conjugated linoleic acid for health: a recent update. *Food & Function*, 16(1), 147-167.

Chimi H. 2006. Technologies d'extraction de l'huile d'olive et gestion de sa qualité. Bulletin mensuel d'information et de liaison du programme national de transfert de technologie en agriculture, 141 : 1-4.

Dey, T., Mishra, A. K., and Nagpal, S. (2025). Conjugated Linoleic Acid (CLA). *Probiotics, Prebiotics, and Postbiotics in Human Health and Sustainable Food Systems*, 101.

Dhifi W., BenKhedher M., Elyes Kechouk M. and Marzouk B. 2006. Etude qualitative et quantitative des arômes et des polyphénols de quelques huiles d'olive de Tunisie. *Olivae*, 105: 36-40.

Diamante, LM, Shi, S., Hellmann, A., and Busch, J. (2015). Friture sous vide : produits, procédé et optimisation. *Revue internationale de recherche alimentaire* , 22 (1), 15.

Di Giovachino L. 1991. L'extraction de l'huile d'olive par le système de la pression, de la centrifugation et de la percolation : incidence des techniques d'extraction sur les rendements en huile. *Olivae*, 36 :14-40.

Du, M., Jin, J., Hou, X., Wei, W., Li, G., Xu, Z., and Wang, X. (2025). Conjugated Linoleic Acid in Colorectal Cancer: Examining the Evidence for Its Preventive and Therapeutic Effects, Mechanisms, and Clinical Translatability. *Food Reviews International*, 1-22.

Gimeno E., Castellote A. I., Lamuela-Raventós R. M., De la Torre M. C., and López-Sabater M. C. 2002. The effects of harvest and extraction methods on the antioxidant content (phenolics, α -tocopherol, and β -carotene) in virgin olive oil. *Food Chemistry*, 78(2) : 207-211.

George, J., and Ghosh, A. R. (2025). Conjugated Linoleic Acid in Cancer Therapy. *Current Drug Delivery*, 22(4), 450-464.

Gertz, C. (2014). Fundamentals of the frying process. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(6), 669-674.

Göncü, A. (2025). Investigation of the Effects of Different Home Frying Methods (Air Fryer and Deep Fryer) on HMF and Aroma Compounds in Gluten-Free Bean Chips. *Food Science & Nutrition*, 13(10), e71065.

González, A., Fullaondo, A., Rodríguez, J., Tirnauca, C., Odriozola, I., and Odriozola, A. (2025). Conjugated linoleic acid metabolite impact in colorectal cancer: a potential microbiome-based precision nutrition approach. *Nutrition Reviews*, 83(2), e602-e614.

Hosseini, H., Ghorbani, M., Meshginfar, N., and Mahoonak, A. S. (2016). A review on frying: procedure, fat, deterioration progress and health hazards. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93(4), 445-466.

Hoque, K., Ali, Z., Maliha, A., Al-Ghouti, M. A., Cugno, C., Rahman, S. M., & Rahman, M. M. (2025). Enhancing bone health with conjugated linoleic acid: mechanisms, challenges, and innovative strategies. *Nutrients*, *17*(8), 1395.

Huang, Y., Li, H., Yu, X., Zhang, F., Wang, A., Wan, X., and Zhang, Y. (2025). Foodomics-based chemical profiling and signature compound characterization of air-fried potato chips: The effect of thermal processing and fish oil treatment on advancing safety, nutrition, and flavor attributes. *Food Bioscience*, *66*, 106211.

Hu, X., Jiang, H., Liu, Z., Gao, M., Liu, G., Tian, S., and Zeng, F. (2025). L'industrie mondiale de transformation de la pomme de terre : analyse de la production, des produits, de la qualité et de la durabilité. *Foods*, *14* (10), 1758.

Ip C., Liu J. A. N. and Pariza M. W. (1994). "Conjugated Linoleic Acid: A New Potential Cancer Prevention Agent." *Nutrition and Cancer*, *21*(2), 151-156.

Jang, Y., Elnar, A. G., Hur, S. J., and Kim, G. B. (2025). Factors influencing conjugated linoleic acid content of dairy products: Challenges and strategies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *65*(20), 3911-3927.

Kelly, G. S. (2001). Conjugated linoleic acid: a review. *Alternative Medicine Review*, *6*(4), 367-367.

Laribi R., Rovellini P., Deflaoui L., Aidli A., Mettouchi S., Arrar L. and Tamendjari A. 2009. Evolution of biophenolic compounds in virgin olive oil during ripening of Algerian cultivars. *Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*.86 : 151-161.

Lazzerini C., Cifelli M. and Domenici V. 2016. Pigments in extra-virgin olive oil: Authenticity and quality. *Products from olive tree*, 99-114.

Lazzerini C. and Domenici V. 2017. Pigments in extra-virgin olive oils produced in Tuscany (Italy) in different years. *Foods*, *6*(4) : 25.

Lazzez A., Vichi S., Kammoun N. G., Arous M. N., Khlif M., Romero A., and Cossentini M. 2011. A four year study to determine the optimal harvesting period for Tunisian Chemlali olives. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *113*(6) : 796-807.

Lin, L., Sun, M. L., Wang, K., Gao, J., Ji, X. J., and Zhao, Q. (2025). Biosynthesis of conjugated linoleic acid: current status and future perspectives. *Bioresources and Bioprocessing*, *12*(1), 72.

Liu, H., Huang, X., Liu, Y., Zheng, G., Yang, W., and Li, B. (2025). Development of Conjugated Linoleic Acid Nanostructured Lipid Carriers and Their Synergistic Efficacy with Curcumin. *Foods*, *14*(17), 3104.

MacDonald, H. B. (2000). Conjugated linoleic acid and disease prevention: a review of current knowledge. *Journal of the American College of Nutrition*, 19(sup2), 111S-118S.

Nahid, M., and Bhuiyan, M. N. I. (2025). Mitigating acrylamide formation in processed potato products: A comprehensive review of strategies, prevention, mitigation, and regulatory challenges. *Food Chemistry Advances*, 101106.

Oke, E. K., Idowu, M. A., Sobukola, O. P., Adeyeye, S. A. O., & Akinsola, A. O. (2018). Frying of food: a critical review. *Journal of Culinary Science & Technology*, 16(2), 107-127.

Parkash Kochhar, S., and Gertz, C. (2004). New theoretical and practical aspects of the frying process. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106(11), 722-727.

Pariza M. W. and Hargrave K. (2001). "Conjugated Linoleic Acid: The Good Fat." *Food Technology*, 55(5), 50-53.

Pariza, M. W., Park, Y., and Cook, M. (2000). Mechanisms of action of conjugated linoleic acid: evidence and speculation (44457). *Proceedings of the society for experimental biology and medicine*, 223(1), 8-13.

Pariza, M. W., Park, Y., and Cook, M. E. (2001). The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. *Progress in lipid research*, 40(4), 283-298.

Ragazzi E., and Veronese G. 1973. Quantitative analysis of phenolic compounds after thin-layer chromatographic separation. *Journal of Chromatography A*, 77(2) : 369-375.

Rahmani M.1996. Critères d'évaluation de l'époque optimale de récolte des olives. 9^{ème} cour international sur l'amélioration de la qualité de l'huile d'olive, espagne: 18.

Rahmani M., and Saari Csallany A. 2000. Etude de stabilité des huiles d'olive vierge marocaines. *Olivae*, 82 : 37-40

Rajendran, M., Palani, S., Singh, T. G., Oliver, B., Dua, K., Subramanian, V., and Narayanan, K. (2025). The Dual Role of Conjugated Linoleic Acid in Obesity and Metabolic Disorders. *Food Science & Nutrition*, 13(7), e70582.

Ranalli A., Tompesi A., Ferrante M.L. and De Mattia G. 1998. Respiratory rate of olive drupes during the irripening cycle and quality of oil extracted. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77 : 359-367.

Rani, L., Kumar, M., Kaushik, D., Kaur, J., Kumar, A., Oz, F., and Oz, E. (2023). A review on the frying process: Methods, models and their mechanism and application in the food industry. *Food Research International*, 172, 113176.

Ribereau-Gayon P. 1968. Les composés phénoliques des végétaux. *Ed. Dunod*. 173-201.

Ricciutelli M., Marconi S., Boarelli M. C., Caprioli G., Sagratini G., Ballini R., and Fiorini D. 2017. Olive oil polyphenols: A quantitative method by high-performance liquid-chromatography-diode-array detection for their determination and the assessment of the related health claim. *Journal of Chromatography A*, 1481 : 53-63.

Rossell, J. B. (Ed.). (2001). *Frying: improving quality*. Elsevier.

Rosseli, J. B. (1998). Industrial frying process. *Grasas y Aceites*, 49(3-4), 282-295.

Rondini, A., and Bani, M. (2006). “The Role of Conjugated Linoleic Acid in Human Health.” *Vitamins and Hormones*, 73, 1-25.

Roche, H. M., Noone, E., and Gibney, A. N. M. J. (2001). Conjugated linoleic acid: a novel therapeutic nutrient?. *Nutrition Research Reviews*, 14(1), 173-188.

Skrypnik, V., Yeleussinov, B., and Semenov, A. (2025). Friture conductrice de viande : état actuel et perspectives.

Smedman, A., and Vessby, B. (2001). “Conjugated Linoleic Acid (CLA) in Human Nutrition.” *Nutrition Reviews*, 59(3), 90-112.

Soler Riva C., Espin J.C. and Wichers H.J. 2000. Oleuropein and related compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80 : 1013-1023.

Son S. and Lewis B.A. 2002. Free Radical Scavenging and Antioxidative Activity of Caffeic Acid Amide and Ester Analogues: Structure Activity Relationship. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 50 : 468-472.

Soni M.G., Burdock G.A., Christian M.S., Bitler C.M. and Crea R. 2006. Safety assessment of aqueous olive pulp extract as an antioxidant or antimicrobial agent in foods. *Food and Chemical Toxicology*, 44 : 903-915.

Vazquez Roncero A. 1978. Les polyphénols de l'huile d'olive et leur influence sur les caractéristiques de l'huile. *Revue Française des Corps Gras*, 78(4): 21-26.

Vattem D.A, Ghaedian R. and Shetty K. 2005. Enhancing health benefits of berries through phenolic antioxidant enrichment : focus on cranberry. *Asia Pacific Journal Clinical Nutrition*, 14 (2):120-130.

Velasco J., and Dobarganes C. 2002. Oxidative stability of virgin olive oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104(9-10) : 661-676.

Villemur P. and Dosba F. 1997. Oléiculture : évolution variétale et acquisition de la maîtrise des pratiques culturales : Huile d'olive: production et marchés. *OCL. Oléagineux, corps gras, lipides* , 4 (5) : 351-355.

Vinha A. F., Ferreres F., Silva B. M., Valentao P., Gonçalves A., Pereira J. A., ... and Andrade P. B. 2005. Phenolic profiles of Portuguese olive fruits (*Olea europaea* L.): Influences of cultivar and geographical origin. *Food chemistry*, 89(4) : 561-568.

Visioli F. and Galli C. 1998. Olive Oil Phenols and their Potential Effects on Human Health. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 46: 4292-4296.

Visioli F., Poli A. and Galli C. 2002. Antioxidant and other biological activities of phenols from olives and olive oil. *Medicinal Research Reviews*, 22 (1): 65-75.

Wahle, K. W., Heys, S. D., and Rotondo, D. (2004). Conjugated linoleic acids: are they beneficial or detrimental to health?. *Progress in lipid research*, 43(6), 553-587.

Wallander E and Albert VA., 2000. Phylogeny and classification of *Oleaceae* based on *RPS16* and *TRNL-F* sequence data. *Amer. J. Bot.* 87 : 1827-1841.

Wang, A., Ao, Y., Liu, X., Wan, X., Zhuang, P., Jiao, J., & Zhang, Y. (2025). Potential impact of the time trend of fried food consumption on the cardiovascular disease burden in China. *Food & Function*, 16(11), 4278-4290.

Wiesman Z. 2009. *Desert olive oil cultivation: advanced bio technologies*. Academic press.

Wu J. T., and Wells D. A. 2003. On-line sample preparation: high throughput techniques and strategies for method development. In *Progress in pharmaceutical and biomedical analysis* (Vol. 5, pp. 505-573). Elsevier.

Xie P. J., Huang L. X., Zhang C. H., and Zhang Y. L. 2015. Phenolic compositions, and antioxidant performance of olive leaf and fruit (*Olea europaea* L.) extracts and their structure–activity relationships. *Journal of Functional Foods*, 16 : 460-471.

Yadegarinia D., Gachkar L., Bagher Rezaei M., Taghizadeh M., Alipoor Astaneh S. and Rasooli I. 2006. Biochemical activities of Iranian *Mentha piperita* L. and *Myrtus communis* L. essential oils. *Phytochemistry*, 67: 1249–1255.

Yang, B., Chen, H., Stanton, C., Ross, R. P., Zhang, H., Chen, Y. Q., & Chen, W. (2015).

Review of the roles of conjugated linoleic acid in health and disease. *Journal of Functional Foods*, 15, 314-325.

Yorulmaz A., Erinc H., and Tekin A. 2013. Changes in olive and olive oil characteristics during maturation. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90(5) : 647-658.

Yousfi K. Cert R. M. and Garcia J.M. 2006. Changes in quality and phenolic compounds of virgin olive oils during objectively described fruit maturation. *European Food Research Technology*, 223: 117–124.

Youssef N. B., Zarrouk W., Carrasco-Pancorbo A., Ouni Y., Segura-Carretero A., Fernández-Gutiérrez A., ... and Zarrouk M. 2010. Effect of olive ripeness on chemical properties and phenolic composition of chétoui virgin olive oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(2) : 199-204.

Zaghi, AN, Barbalho, SM, Guiguer, EL, and Otoboni, AM (2019). Procédé de friture : de la technologie conventionnelle à la friture à air. *Food Reviews International* , 35 (8), 763-777.

Zamora R., Alaiz M. and Hidalgo F.J. 2001. Influence of cultivar and fruit ripening on olive (*Olea europaea*) fruit protein content, composition, and antioxidant activity. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 49: 4267-4270.

Zaghi, AN, Barbalho, SM, Guiguer, EL, and Otoboni, AM (2019). Procédé de friture : de la technologie conventionnelle à la friture à air. *Food Reviews International* , 35 (8), 763-777.

Zarrouk M., Marzouk B., Ben Miled Daoud D. and Chérif A. 1996. Accumulation de la matière grasse de l'olive et l'effet du sel sur sa composition. *Olivae*, 61 : 41-45.

Zelege K., and Ayton J. 2018. The effect of harvest time and watering regimes on olive oil extraction and quality. *Australian and New Zealand Olive Grower and Processor*, (107) : 38-40.

Zhang, X., Zhang, M., & Adhikari, B. (2020). Recent developments in frying technologies applied to fresh foods. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 68-81.