

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Facultés des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département Biochimie-Microbiologie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Biochimie appliquée

Thème

Etude de l'activité anti-allergique du lait de chèvre élevée dans la région de Tizi-Ouzou en Kabylie

Réalisé par : Mlle Mehaddene Amina & Mlle Ameer Laeticia

Soutenu le 22/06/2025, devant le jury composé de :

Président : Dr. Bouacem K.	Maître de Conférences A	UMMTO
Promotrice : Dr. Taleb K.	Maître de Conférences A	UMMTO
Examineur : Dr. Lefsih K.	Maître de Conférences A	UMMTO

Année Universitaire : 2024/2025



Remerciements

Avant tout développement sur cette expérience il apparaît opportun de commencer ce travail par des remerciements

Nous remercions Allah le tout puissant et le bienveillant, de nous avoir accordé les bénédictions, la santé et surtout le courage d'accomplir ce travail.

A ceux qui nous ont beaucoup appris au cours des 5ans à l'Université Mousoud Mammeri, faculté des sciences biologiques et sciences agronomiques.

A notre promotrice Dr. Taleb K., sa confiance en nous, sa bienveillance, ses conseils qui ont contribué à alimenter notre réflexion tout au long de la préparation et la rédaction de ce fruit.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance au Dr. Bouacem K. pour avoir eu l'amabilité de présider notre jury d'évaluation.

Nous tenons à exprimer notre gratitude au Dr. Lefsih K. pour avoir accepté d'examiner notre travail.



Dédicaces



À tous ceux qui sont chers à qui je dois mon succès :

À celle dont ces paroles m'accompagnent depuis que j'étais petite, la première femme forte, courageuse, celle qui m'a appris à être une fille forte, celle qui m'a encouragée à poursuivre mes rêves.

Mon ange gardien ton amour et ta présence dans ma vie continueront d'éclairer mon chemin. *Maman*

À celui qui m'a dit un jour que je suis la prunelle de ses yeux, et qui voyait dans mon plus simple succès la plus grande réalisation.

À l'homme qui fait de moi ce que je suis aujourd'hui *PAPA*.
Grace à toi j'ai appris à être la fille qui ne cesse pas de faire tous pour te rendre heureux et fier.

Votre fille unique qui vous adore.

A mes chers frères **M'HAND, SALIM, MOHAMED ET MADJID**. Je suis incroyablement reconnaissante de vous avoir à mes côtés.

Pour ma super belle-sœur **ANISSA**, Cette réussite, je te la dois aussi ! Merci infiniment pour ton soutien indéfectible pendant mes études.

A mes petits bouts de sucre **ARIS** et **LÉA** qui apportent tant de lumière et de rires dans ma vie.

À mon binôme **LAETICIA** merci d'être la meilleure version de toi-même.

Enfin je dédie ce travail à moi-même, c'est le temps D'y être !

AMINA



Dédicaces



À tous ceux qui sont chers à qui je dois mon succès :

A mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allume mon chemin, ma moitié, à celle dont les prières sincères ont été le secret de ma réussite, **MAMAN**.

A celui qui m'a fait une femme, ma source de vie, d'amour et d'affection, à mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, à mon cher **PAPA**.

A mes chères sœurs **RIMA** et **WASSILA**, je vous dis merci pour votre soutien et vos conseils précieux tout au long de mes études.

A mon petit frère **ASSALAS**, source de joie et de motivation quotidienne.

A ma tante **SIHEM**, pour son soutien moral et sa présence constante.

À mon binôme **AMINA** merci d'être la meilleure version de toi-même.

Enfin je dédie ce travail à moi-même, pour ma patience, ma détermination et ma persévérance, me voilà aujourd'hui en train de conclure tous ce que j'ai vécu avec fierté et réussite.

LAETICIA



Résumé

Le lait de chèvre, reconnu pour ses qualités nutritionnelles et digestives, est de plus en plus consommé en Algérie et particulièrement dans la région de Kabylie. De récentes recherches lui attribuent des propriétés immunomodulatrices, ouvrant des perspectives dans la prévention et la prise en charge des pathologies inflammatoires telles que la rhinite allergique. Cette maladie chronique des voies respiratoires connaît une forte prévalence mondiale et altère significativement la qualité de vie, avec des traitements souvent limités à la résolution des symptômes. L'alimentation émerge ainsi comme une alternative pour moduler la réponse immunitaire exagérée dans les allergies.

Cette étude vise à évaluer l'effet anti-allergique du lait de chèvre Kabyle dans un modèle murin de rhinite allergique induite par l'ovalbumine. Vingt souris femelles âgées de cinq semaines ont été réparties en deux groupes : un groupe témoin a reçu une solution saline par voie orale pendant 2 semaines, tandis que le groupe expérimental a été supplémenté quotidiennement avec 0,2 mL de lait de chèvre. À l'issue de cette période, une sensibilisation allergique a été induite chez toutes les souris. Les résultats montrent que les souris traitées au lait de chèvre présentent une tendance à la diminution des symptômes nasaux (frottements) ainsi que du nombre des cellules immunitaires dans le sang. Ces données suggèrent un effet anti-allergique du lait de chèvre.

En conclusion, ce travail met en évidence le potentiel du lait de chèvre comme aliment bioactif capable de moduler la réponse immunitaire dans le contexte allergique. Une consommation précoce, dès les premiers stades de la vie, pourrait contribuer à une prévention de la rhinite allergique à l'âge adulte.

Mots clés : Rhinite-allergique, lait de chèvre, ovalbumine, immunomodulation, anti-allergique.

Abstract

Goat milk, recognized for its nutritional and digestive qualities, is increasingly consumed in Algeria, particularly in the Kabylie region. Recent research attributes immunomodulatory properties to it, opening up prospects in the prevention and management of inflammatory pathologies such as allergic rhinitis. This chronic respiratory disease is highly prevalent worldwide and significantly impairs quality of life, with treatments often limited to symptom resolution. Diet is thus emerging as an alternative to modulate the exaggerated immune response in allergies.

This study aimed to evaluate the anti-allergic effect of Kabyle goat's milk in a mouse model of ovalbumin-induced allergic rhinitis. Twenty five-week-old female mice were divided into two groups: a control group received oral saline for two weeks, while the experimental group was supplemented daily with 0.2 mL of goat's milk. At the end of this period, allergic sensitization was induced in all mice. The results show that mice treated with goat's milk exhibited a trend toward decreased nasal symptoms (rubbing) and decreased blood immune cell counts. These data suggest an anti-allergic effect of goat's milk.

In conclusion, this work highlights the potential of goat's milk as a bioactive food capable of modulating the immune response in the context of allergies. Early consumption, from the earliest stages of life, could contribute to the prevention of allergic rhinitis in adulthood.

Keywords: Allergic rhinitis, goat milk, ovalbumin, immunomodulation, anti-allergic.

Figure 01 : Classification de l'hypersensibilité selon Johanson.....	4
Figure 02 : Classification selon Gell et Coomb 1963.....	8
Figure 03 : Représentation schématique d'une immunoglobuline E.....	11
Figure 04 : Représentation schématique du FcεRI et de ses unités modulaire.....	12
Figure 05 : Structure de récepteur CD23.....	13
Figure 06 : Représentation schématique du mécanisme de l'allergie, hypersensibilité de type I (immédiate).....	17
Figure 07 :Hypersensibilité de type III.....	18
Figure 08 : Propriétés nutritionnelles du lait de chèvre.....	28
Figure 09 : Bienfaits du lait de chèvre pour la santé.....	31
Figure 10 : Propriétés thérapeutiques du lait de chèvre.....	32
Figure 11 : Effet anti-allergique du lait de chèvre.....	33

Tableau I : Principales caractéristiques des allergènes.....	5
Tableau II : Grandes familles d'allergènes d'intérêt clinique.....	6
Tableau III : Classification selon Gell et Coomb 1963.....	9
Tableau IV : Nouvelle classification ARIA.....	20
Tableau V : Concentrations (par 100 g) d'éléments nutritifs de base, de vitamines et de minéraux dans le lait de chèvre en comparaison avec le lait de vache et le lait humain.....	24

AAAAI : Académie américaine d'allergologie et d'immunologie

α -LA : α -Lactalbumine

ARIA : Allergic rhinitis and its impact on asthma (Rhinite allergique et son impact sur l'asthme)

BSA : Bovine serum albumin (Albumine sérique bovine)

β -LG : β -Lactoglobuline

CL : Constant Light chain (chaîne légère constante)

CMH : Complexe majeur d'histocompatibilité

CMP : Common myeloid progenitors (Progéniteurs myéloïdes communs)

CPA : Cellule présentatrice d'antigènes

DCs : Dendritic cells (Cellules dendritiques)

EAACI : European academy of allergy and clinical immunology (Académie européenne d'allergologie et d'immunologie clinique)

ECP : Eosinophil cationic protein (Protéine cationique des éosinophiles)

EDN : Eosinophil-derived neurotoxin (Neurotoxine dérivée des éosinophiles)

EDTA : Ethylène-Diamine- Tétra-Acétique

EPO : Eosinophil peroxidase (Peroxydase des Eosinophiles)

HSC : Hematopoietic stem cells (Cellules Souches Hématopoïétiques)

IgE : Immunoglobuline E

IL-4, IL-6 : Interleukine 4, Interleukine 6

ITAMs: Immunoreceptor Tyrosine Based Activation Motif (Motif d'activation des récepteurs immuns basé sur la tyrosine)

LTC4 : Leucotriène C4

MBP : Major Basic Protein (Protéine basique majeure)

MDP : Monocyte and dendritic cell progenitors (Progéniteurs de monocytes et de cellules dendritiques)

NO : Nitric oxide (Oxyde nitrique)

PGD2 : Prostaglandine D2

PNB : Polynucléaires basophiles

RA : Rhinite allergique

TAG : Triacylglycérol

TCM : Triglycérides à chaîne moyenne

Th2 : Lymphocytes T auxiliaires de type 2

VH : Variable Heavy chain (région variable de la chaîne lourde)

Tables des Matières

Introduction	1
Synthèse bibliographique	
Chapitre I : L'allergie	
1. Définition de l'allergie et de l'hypersensibilité	3
2. Allergènes	4
2.1. Définition	4
2.2. Caractéristiques	5
2.3. Classification	5
2.3.1. Épitopes	7
3. Classification de l'allergie	7
3.1. Classification selon le mécanisme	7
3.1.1. Hypersensibilité de type I	7
3.1.2. Hypersensibilité de type II	7
3.1.3. Hypersensibilité de type III	8
3.1.4. Hypersensibilité de type IV	8
3.2. Classification selon le mode de pénétration de l'allergène	9
3.2.1. Allergies respiratoires	9
3.2.2. Allergies alimentaires	9
3.2.3. Allergies médicamenteuses	10
3.2.4. Allergies cutanées	10
4. Médiateurs de l'allergie	10
4.1. Immunoglobulines E	10
4.1.1. Récepteurs des IgE	11
4.2. Différents acteurs cellulaires	13
4.2.1. Cellules dendritiques	13
4.2.2. Mastocytes et polynucléaires basophiles	14
4.2.3. Eosinophiles	14
4.3. Médiateurs préformés	14
4.4. Médiateurs néoformés	15
4.5. Cytokines et chimiokines	15
5. Mécanismes de l'hypersensibilité	16
5.1. Hypersensibilité type I	16
5.2. Hypersensibilité de type II	17

5.3. Hypersensibilité de type III	18
5.4. Hypersensibilité de type IV	18
6. Rhinite allergique	19
6.1. Définition	19
6.2. Classification	19

Chapitre II :Lait de chèvre

1. Définition	21
2. Composition du lait de chèvre	21
2.1. Matière grasse	21
2.2. Protéines	22
2.3. Glucides	23
2.4. Vitamines et minéraux	23
2.5. Facteurs influençant la variation de la composition du lait de chèvre	24
2.6. Comparaison entre lait de chèvre et lait de vache	25
3. Les propriétés du lait de chèvre	26
3.1. Valeurs nutritionnelles	26
3.1.1. Source de composés bioactifs	26
3.1.2. Digestibilité	27
3.1.3. Troubles de Malabsorption	27
3.2. Propriétés thérapeutiques	28
3.2.1. Propriétés anti-inflammatoires	28
3.2.2. Propriétés antimicrobiennes	29
3.2.3. Propriétés anti-oxydantes	29
3.2.4. Propriétés prébiotiques	29
3.2.5. Propriété immunomodulatrice	29
3.2.6. Propriétés anti hypertensives	30
3.2.7. Propriétés anti diabétique	31
3.2.8. Renforce les os	31
3.2.9. Propriétés sur la santé cardiaque	32
4. Effet anti-allergique du lait de chèvre	32

Matériel et Méthodes

1. Matériel biologique	33
1.1. Lait de chèvre	33
1.2. Animaux	33

2. Méthodes	34
2.1. Répartition des souris	34
2.2. Gavage des souris avec le lait de chèvre	34
2.3. Induction de la rhinite allergique	34
2.3.1. Préparation de l'allergène	34
2.3.2. Sensibilisation des souris	35
2.3.3. Challenge nasal	35
2.3.4. Suivi des symptômes de la rhinite allergique	35
2.4. Sacrifice et collecte des échantillons desang	35
3. Etude statistique	36
Résultats	
1. Courbe de poids après gavage au lait de chèvre	37
2. Nombre de frottements après induction de la rhinite allergique	38
3. Formule de numération sanguine	38
3.1. Variation du nombre de globules blancs totaux	39
3.2. Variation du nombre des cellules MID	39
Discussion	41
Conclusion	43
Références bibliographiques	

INTRODUCTION

Introduction

Les allergies constituent un enjeu majeur de santé publique. Caractérisées par une montée exponentielle de leur prévalence à l'échelle mondiale, elles toucheraient entre 10 % et 30 % de la population générale. Ces réactions immunitaires inappropriées ou exagérées vis-à-vis d'antigènes habituellement inoffensifs sont responsables d'un fardeau clinique et socio-économique non négligeable, notamment en raison de leur caractère chronique, récidivant, voire dans certains cas, potentiellement grave (**Wiley et Sons, 2012**). Il existe différentes formes d'allergies, notamment les allergies respiratoires, alimentaires, de contact, aux venins ainsi que celles liées à certains médicaments.

La rhinite allergique (RA), forme la plus fréquente des maladies respiratoires allergiques, est définie comme une inflammation des muqueuses nasales supérieures, déclenchée par l'exposition à des allergènes aérodispersés tels que les pollens, les acariens ou les champignons. Selon l'OMS, elle affecterait plus de 300 millions de personnes à travers le monde, avec une incidence croissante ces dernières décennies. Elle se manifeste cliniquement par un tableau symptomatique comprenant éternuements, obstruction et prurit nasal, souvent associés à des atteintes oculaires. L'ensemble de ces symptômes altère significativement la qualité de vie des patients, perturbe le sommeil et peut aggraver des comorbidités telles que l'asthme ou les sinusites. Elle constitue un problème de santé public majeur, engendrant des conséquences économiques et sociales préoccupantes, ainsi que des coûts liés à l'hospitalisation et aux traitements (**Bezerra Barros et al., 2020**). Les causes supposées de l'accroissement de la prévalence sont multifactorielles : pollution de l'air, tendance à l'urbanisation, style de vie occidentale et le stress (**Ouhab, 2019**).

Le lait de chèvre est reconnu comme une source riche en divers macro et micronutriments. Il se distingue par sa composition équilibrée en protéines, en matières grasses, en glucides et en autres éléments nutritionnels. Au-delà de ses atouts alimentaires, le lait de chèvre est désormais au centre de nombreuses recherches scientifiques en raison de ses propriétés biologiques à potentiel thérapeutique. Ces dernières seraient dues à la composition particulière du lait de chèvre, qui se distingue par des protéines moins allergisantes qui le rendrait plus adapté aux personnes souffrant d'intolérances ou d'allergies. Une activité modulatrice sur le système immunitaire lui serait également associée (**Nayik et al., 2021**).

Le lait de chèvre offre de nombreux avantages pour le système immunitaire, notamment en réduisant les marqueurs spécifiques des réactions allergiques (**Lad et al., 2017**). Ces effets immunomodulateurs sont principalement dus à des composés tels que les acides aminés et les oligosaccharides, qui agissent sur les cytokines inflammatoires de l'organisme (**Kumar et al., 2016**). Des études ont montré que ce lait contribue à diminuer les niveaux de cytokines pro-inflammatoires, comme l'interleukine-4 (IL-4), qui joue un rôle clé dans les réactions d'hypersensibilité. Par ailleurs, la consommation de lait de chèvre est liée à une augmentation des taux de la cytokine anti-inflammatoire IL-10, laquelle inhibe la production de cytokines pro-inflammatoires comme le TNF- α (**Lad et al., 2017**). De ce fait, le lait de chèvre apparaît comme un aliment prometteur

Introduction

dans le cadre de stratégies préventives ou complémentaires visant à moduler le système immunitaire et à soutenir la gestion de certaines maladies chroniques ou allergiques.

C'est dans ce contexte précis que s'inscrit notre étude, dont l'objectif est d'évaluer les effets anti-allergiques du lait de chèvre élevée en Kabylie, dans un modèle de rhinite allergique induite chez la souris. L'approche retenue vise à déterminer si une administration précoce de ce lait, durant la période de développement immunitaire précoce, pourrait réduire la susceptibilité à développer des réactions allergiques respiratoires à l'âge adulte.

Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé un modèle expérimental largement validé en recherche biomédicale : la rhinite allergique induite par l'ovalbumine (OVA) chez la souris BALB/c. Ce modèle permet de reproduire de manière fiable les mécanismes immunopathologiques ainsi que les manifestations cliniques observées dans la rhinite allergique humaine.

Les effets anti-allergiques potentiels du lait de chèvre ont été évalués à travers les paramètres suivants :

- L'analyse de l'apparition des symptômes de la rhinite allergique (frottements)
- L'analyse des cellules immunitaires dans le sang des souris après induction de la rhinite allergique

CHAPITRE I :

L'ALLERGIE

1. Définition de l'allergie et de l'hypersensibilité

L'allergie se classe au sixième rang des maladies à l'échelle mondiale, touchant environ un milliard de personnes. Cette condition progresse rapidement dans les pays occidentaux, en parallèle avec le développement de l'industrie.

En 1906, Von Pirquet a observé que l'exposition du corps à une substance spécifique pouvait entraîner la production d'anticorps, provoquant ainsi un changement dans la réactivité de l'individu face à cette substance. Il a désigné ce phénomène sous le terme « allergie », dérivé du grec « allos », qui signifie « autre ou différent », et « ergia », qui fait référence à « énergie ou action », en l'occurrence au changement dans la capacité de réagir. Ce changement peut s'avérer bénéfique, permettant ainsi à l'individu de ne pas présenter de symptômes en réponse à la substance en question, ou au contraire, il peut être néfaste et engendrer des symptômes ainsi que des signes de maladie, que l'on définit alors comme une hypersensibilité (**Igea, 2013**).

L'allergie se manifeste comme une réaction d'hypersensibilité résultant d'un mécanisme immunologique. Les médiateurs impliqués peuvent être des immunoglobulines (IgE ou IgG) ou des cellules (lymphocytes). Les allergies médiées par les IgE sont les plus courantes : elles incluent certains types d'asthme et de rhinite, ainsi que la majorité des allergies alimentaires, celles aux venins d'hyménoptères et certaines allergies médicamenteuses (**Dong, 2012**).

La réaction d'hypersensibilité a été définie en 2001 selon la nomenclature de l'Académie européenne d'allergologie et d'immunologie clinique (EAACI). Cette définition a été confirmée en 2004 par l'Académie américaine d'allergologie et d'immunologie (AAAAI). Elle désigne l'ensemble des symptômes, objectivement reproductibles, qui surviennent suite à une exposition à un stimulus spécifique, à une dose normalement tolérée par des individus normaux (**Agnès, 2016**).

L'hypersensibilité se classe selon son mécanisme en deux catégories (**figure 1**) : l'hypersensibilité allergique, qui est médiée par le système immunitaire, et l'hypersensibilité non allergique, également appelée hypersensibilité pseudo-allergique ou anaphylactoïde. Cette dernière est liée à divers mécanismes, notamment la libération non spécifique d'histamine et l'activation du complément (**Dong, 2012**).

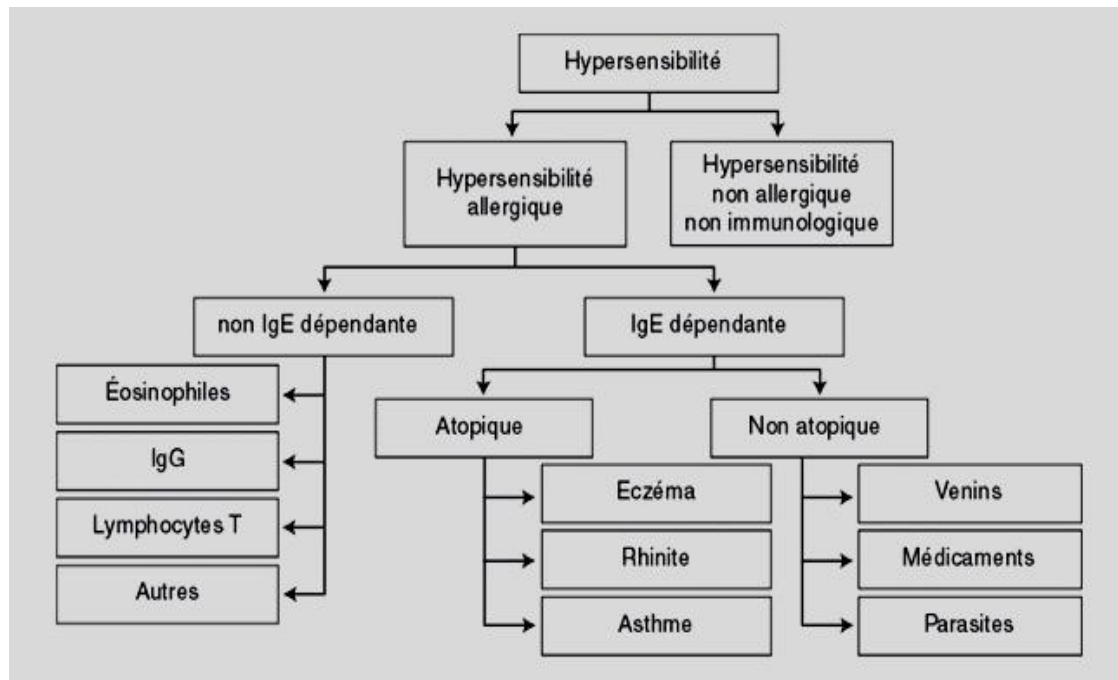


Figure 1 : Classification de l'hypersensibilité selon Johanson (Lakhabab, 2017)

2. Allergènes

Les antigènes responsables des maladies allergiques sont appelés allergènes, qui sont de diverses origines (pollen, phanères d'animaux, fruit, latex ...etc.). Ils sont issus de l'environnement et ne sont normalement pas pathogènes chez le sujet sain.

2.1. Définition de l'allergène

L'allergène est un antigène capable de déclencher des réponses immunitaires de type allergique chez des personnes particulièrement sensibles, et ce, dans un environnement favorable. Pour les réactions dépendantes des IgE, ce sont principalement des glycoprotéines, voire des hydrates de carbone isolés ; plus rarement des molécules de faible poids moléculaire, comme les isocyanates ou les anhydrides. En ce qui concerne les réactions cellulaires, elles impliquent généralement des médicaments ou d'autres petites molécules, telles que le chrome, le nickel et le formaldéhyde (Borry, 2018). Les allergènes pénètrent dans l'organisme par inhalation, ingestion, injection ou contact (Lei et Grammer, 2019).

Le terme "allergène" fait généralement référence à la source allergénique, comme les acariens, alors qu'il désigne en réalité les protéines qui composent cette source. On parle d'allergène majeur lorsque plus de 50 % des individus d'un groupe de patients y sont allergiques. À l'inverse, un allergène est considéré comme mineur s'il concerne moins de 50 % des membres de ce même groupe. Ainsi, une source allergénique peut contenir plusieurs allergènes, qu'ils soient majeurs ou mineurs (Montoyo, 2017).

2.2. Caractéristiques des allergènes

Les antigènes à l'origine des maladies allergiques sont désignés sous le terme d'allergènes. Provenant de notre environnement, ces éléments ne sont généralement pas nocifs pour un individu sain. Ils présentent diverses caractéristiques qui méritent d'être soulignées (Evrard, 2020).

Les allergènes se présentent généralement sous la forme de glycoprotéines, et plus précisément, il s'agit souvent de peptides ou de glycopeptides. Les lipides et les sucres, sont beaucoup moins fréquemment responsables d'allergies. Pour déclencher une réaction allergique, l'allergène doit être multivalent (Tableau I).

Tableau I : Principales caractéristiques des allergènes (Evrard, 2020)

Nature biochimique	Les allergènes sont le plus souvent des glycoprotéines et plus précisément des peptides ou des glycopeptides . Les lipides ou les sucres seuls sont beaucoup plus rarement allergéniques bien qu'il existe quelques contre-exemples (comme les alpha-gal au cours de l'allergie à la viande)
Site reconnu par les IgE	Une portion limitée de l'allergène appelée le déterminant antigénique ou épitope
Notion de valence	Pour déclencher une réaction allergique, l'allergène doit être multivalent , c'est-à-dire qu'il doit posséder de multiples épitopes (répétitifs ou non) pour pouvoir être reconnu au minimum par deux IgE spécifiques fixées à la surface d'un mastocyte ou d'un PNB via le FcεRI, créant un phénomène de pontage
Cas particulier	Les haptènes , c'est-à-dire des molécules de trop petite taille (5 à 10 kda) pour être antigénique par elles-mêmes, ce qui implique qu'elles doivent être couplées à une protéine porteuse, généralement du soi, pour déclencher une réaction. Les médicaments sont souvent des petites molécules d'origine chimique et représentent ainsi une part significative des haptènes connus

2.3. Classification des allergènes

Les allergènes sont classés par groupes selon leur voie de pénétration dans l'organisme, on distingue ainsi les allergènes aériens, alimentaires et injectés. De plus, il existe d'autres catégories basées sur la nature spécifique des allergènes, tels que les allergènes médicamenteux, ou sur leur présence uniquement dans un environnement particulier, comme c'est le cas pour les allergènes professionnels (Tableau II).

Tableau II : Grandes familles d'allergènes d'intérêt clinique (Evrard, 2020)

Type d'allergène	Voie de pénétration	Muqueuse impliquée	Exemples typiques
Allergènes aériens = respiratoires = pneumallergènes = aéroallergènes	Inhalation	Muqueuse bronchique (et/ou dans les muqueuses ORL et oculaire)	Les plus fréquents sont les pollens, en particulier de graminées (en mai-juin-juillet), d'arbre, notamment du bouleau (classiquement en avril) et d'herbacées (armoise et ambroisie, responsables pathologies d'arrière-saison, fin aout-septembre), puis les acariens de la poussière domestique (Dermatophagoides pteronyssinus et farinae), les phanères des animaux (en particulier du chat, mais aussi du chien, du cheval...) ou encore les moisissures (Aspergillus, Alternaria alternata, Cladosporium et Penicillium que l'on retrouve également dans la poussière)
Allergènes alimentaire = trophallergènes	Ingestion	Muqueuse digestive	Avant l'âge de 2 ans, l'allergie alimentaire la plus fréquente est l'APLV (allergie aux protéines du lait de vache) et l'allergie à l'œuf de poule vient en deuxième position. Au-delà de cet âge, c'est l'allergie à l'arachide qui devient la plus fréquente, puis noisette, les différents types de noix, la moutarde, le poisson ou le blé.
Allergènes injectés	Voie transcutanée	Peau, puis diffusion systémique	Les venins des hyménoptères en France correspondent essentiellement aux venins de guêpe (commune ou poliste) et d'abeille, dans une moindre mesure au venin de frelon.
Allergènes médicamenteux	Variable : injection, ingestion	Variable	De nombreux médicaments peuvent être responsables de réactions allergiques IgE-dépendantes. Par exemples les produits anesthésiants de type curares (possédant un noyau ammonium quaternaire), comme la célocurine, peuvent induire des chocs anaphylactiques per-anesthésiques, potentiellement mortels. L'allergie au beta-lactamines (pénicillines) bien que largement surdiagnostiquée, ou celle aux fluoroquinolones sont également à risque de choc anaphylactique
Allergènes professionnels	Variable : contact cutané ou avec muqueuse lors d'une opération	Variable	De nombreux allergènes présents dans le milieu professionnel peuvent être responsables de pathologies allergiques. Le latex, produit par l'arbre à caoutchouc est celui qui pose le plus de souci en pratique (par exemple le milieu hospitalier, nécessité de port de gants, de postes aménagés...)

2.3.1. Épitopes

L'épitope désigne une partie d'un antigène qui est reconnu par un anticorps ou un récepteur d'antigène, tel que le récepteur des cellules T. Les anticorps ont la capacité de reconnaître presque toutes les structures chimiques d'un antigène, qu'il soit natif, dénaturé ou dégradé (**Liu et Sathe, 2018**). Deux types de spécificité apparaissent : Le premier est lié à une séquence présente sur la surface d'une région de l'antigène (ou allergène) au sein de la structure tridimensionnelle de la protéine, ce qui correspond à l'épitope B reconnu par les anticorps. Le second, se situe plus en profondeur dans la molécule. Il se manifeste après que l'antigène a été traité par une cellule présentatrice d'antigène, et correspond à une structure séquentielle portée par un peptide linéaire. Ce dernier se lie au Complexe Majeur d'Histocompatibilité (CMH) de classe I, permettant l'activation spécifique d'un récepteur sur les lymphocytes T, désigné comme l'épitope T (**David, 2017**).

3. Classification de l'allergie

3.1. Classification selon le mécanisme

Nomenclature classique d'hypersensibilité élaborée par Robert Coombs et Philip Gell en 1963 (**figure 2**) (**Tableau III**) :

3.1.1. Hypersensibilité de type I

Est l'hypersensibilité immédiate est la forme la plus courante et la plus significative d'un point de vue clinique. Elle est caractérisée par des réactions immunologiques liées aux anticorps de classe IgE, qui se développent lors d'un second contact avec un allergène. En règle générale, ces réactions se manifestent dans un délai de 10 à 20 minutes après l'exposition à l'allergène, et sont le résultat de l'activation des mastocytes présents dans les tissus et des basophiles dans le sang. Ce mécanisme joue un rôle crucial dans les allergies respiratoires, telles que la rhinite et l'asthme allergique, ainsi que dans les manifestations cutanées et les cas de choc anaphylactique (**Bollini, 2020**).

3.1.2. Hypersensibilité de type II

Également connue sous le nom d'hypersensibilité cytotoxique, est caractérisée par l'intervention d'anticorps circulants (IgM et IgG) qui se lient à un antigène présent à la surface d'une cellule ou d'un tissu. Cet antigène peut être soit naturellement présent, soit exogène. Les immunoglobulines impliquées dans ce type de réaction provoquent des dommages cellulaires en activant le système du complément ou par le biais de la phagocytose, menant ainsi à une cytotoxicité. Le délai de réaction peut varier de quelques minutes à quelques heures. Parmi les exemples de cette hypersensibilité, on trouve l'anémie hémolytique médicamenteuse, la granulocytopenie et la thrombocytopenie (**Ghaffar et Hudrisier, 2014**).

3.1.3. Hypersensibilité de type III

Ce type se manifeste comme une réaction semi-retardée, résultant de la formation et du dépôt de complexes immuns circulants, composés d'anticorps de type IgG et d'antigènes. Ces complexes s'accumulent sur les parois des vaisseaux sanguins ou les membranes basales. Cette précipitation anormale entraîne l'activation du complément, ainsi que le recrutement de polynucléaires neutrophiles et de macrophages, provoquant ainsi une inflammation locale d'une intensité accrue. Ce type d'hypersensibilité peut être à l'origine de diverses maladies, telles que les maladies sériques, les vascularites nécrosantes, les glomérulonéphrites et le lupus érythémateux disséminé (Montoyo, 2017).

3.1.4. Hypersensibilité de type IV

Elle est appelée également hypersensibilité retardée, le type IV englobe l'ensemble des réactions qui nécessitent plus de douze heures pour se manifester. Ce sont des réactions à médiation cellulaire impliquant les lymphocytes T, suivis de la libération de cytokines, entraînant ainsi une réponse cytotoxique. Parmi les exemples d'hypersensibilité de type IV, on trouve l'hypersensibilité de contact provoquée par le nickel, les parfums ou encore certains conservateurs présents dans les produits cosmétiques, ainsi que l'hypersensibilité tuberculique et l'hypersensibilité granulomateuse (Zappa, 2016).

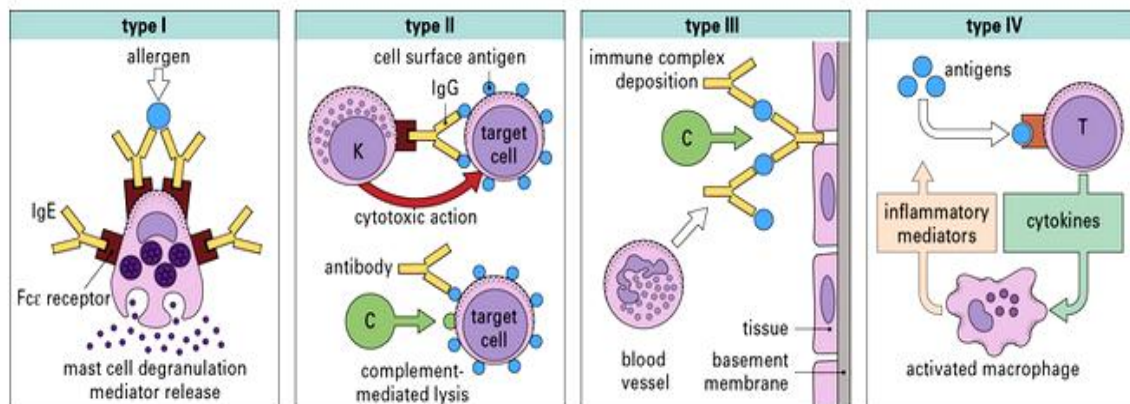


Figure 2 : Classification de l'hypersensibilité selon Gell et Coomb 1963 (Ciabrini, 2021)

**Tableau III : Classification de l'hypersensibilité selon Gell et Coomb 1963
(Rouzaire, 2022)**

	Effecteurs	Mécanismes	Aspects cliniques
Type I	HS à IgE	Pontage par l' Ag des IgE fixées sur mastocytes et basophiles : libération de médiateurs vasoactifs	- Erythème - Œdème - Prurit - Anaphylaxie
Type II	HS cytotoxique médiée par IgM, IgG	Ac dirigés contre Ag cellulaires : destruction cellulaire (C' ou ADCC)	- Transfusion incompatible - Anémie hémolytique autoimmune - Incompatibilité foetomaternelle
Type III	HS à immunocomplexes	Dépôt tissulaire d' immunocomplexes : activation C' et réponse inflammatoire	- Arthus localisé - Maladie sérique - Glomérulonéphrite - Lupus
Type IV	HS cellulaire	T sensibilisés à l' Ag libèrent des cytokines qui activent des macrophages ou des cellules T cytotoxiques	- Induration, nodule - HS tuberculique - Dermatite de contact - Rejet de greffe

3.2. Classification selon le mode de pénétration de l'allergène

3.2.1. Allergies respiratoires

Se manifestent comme des réactions cliniques résultant d'une réponse immunologique inappropriée et exagérée, ciblant spécifiquement les allergènes aéroportés ou pneumallergènes, que ce soit en milieu extérieur ou intérieur. Ces pneumallergènes sont souvent à l'origine de troubles tels que la rhinite, la conjonctivite et l'asthme. Ces allergies respiratoires peuvent être déclenchées par divers facteurs, notamment :

- Poussières végétales, telles que les pollens provenant principalement des graminées.
- Pneumallergènes d'origine animale, qui incluent les poils, les phanères et les animaux de laboratoire (Chiriac et Demoly, 2013).

3.2.2. Allergies alimentaires

L'allergie alimentaire se caractérise par un ensemble de manifestations cliniques, tant digestives qu'extra-digestives, qui peuvent être aiguës ou chroniques. Ces réactions sont liées à une réponse immuno-allergique face à des allergènes alimentaires (Nancey et al., 2013). Cette hypersensibilité immunitaire peut être médiée par les IgE, comme dans le cas de l'anaphylaxie alimentaire, ou être non médiée par les IgE, ce qui inclut des affections telles que la maladie cœliaque, la dermatite atopique, l'entérocolite induite par les protéines et l'œsophagite à éosinophiles (Michel et Doyen, 2015).

3.2.3. Allergies médicamenteuses

Les Allergies médicamenteuses se manifestent sous forme de réactions pathologiques, résultant d'un mécanisme immunologique humoral et /ou cellulaire, déclenchées par la prise de médicaments (**Demoly et al., 2013**). Selon le laps de temps qui s'écoule entre l'administration du médicament et l'apparition des symptômes, ces allergies peuvent être classées en deux catégories : immédiates ou retardées (**Dupire et Vaia, 2015**).

3.2.4. Allergies cutanées

Trois manifestations cliniques peuvent se présenter : l'eczéma, l'urticaire et la conjonctivite. Chez les enfants, on observe fréquemment des allergies de contact liées aux métaux, aux parfums, aux chaussures, ainsi qu'à diverses solutions, crèmes et pommades, ou toute substance appliquée sur la peau (**Salvi, 2018**).

4. Médiateurs de l'allergie

4.1. Immunoglobulines E (IgE)

Bien qu'elles jouent également un rôle dans les mécanismes de défense contre les infections parasitaires, les IgE sont principalement associées aux maladies atopiques lors des réactions allergiques (**Engeroff et Vogel, 2019**).

Les IgE sont des glycoprotéines d'une masse moléculaire de 190 kDa. Sont produites par les plasmocytes (lymphocytes B différenciés). L'initiation de leur synthèse nécessite la présence d'interleukines (IL-4 et IL-13), activant la transcription, et l'interaction entre les lymphocytes B et T permettant la commutation isotypique. Chez le sujet atopique, cette synthèse est anormalement élevée car les lymphocytes T auxiliaires de type 2 (Th2) produisent en plus grande quantité et plus fréquemment les cytokines IL-4 et IL-13 (**Ciabrini, 2021**).

L'IgE est constituée de deux chaînes lourdes et de deux chaînes légères. Les chaînes lourdes comportent un domaine variable (VH) ainsi que quatre domaines constants (Cε1 à Cε4). Les chaînes légères se composent d'un domaine variable (VL) et d'un domaine constant (CL). Entre les domaines Cε2 et Cε3 se situe le site de fixation membranaire, qui interagit avec les récepteurs spécifiques de l'IgE (**figure3**) (**Rémi, 2015**).

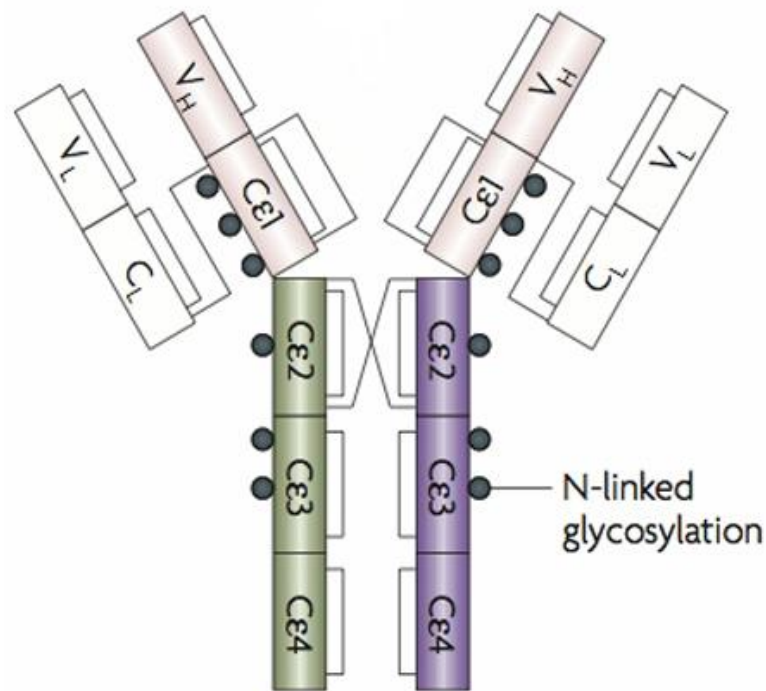


Figure 3 : Représentation schématique d'une immunoglobuline E (Rouzaire, 2022)

4.1.1. Récepteurs des IgE

Les récepteurs des IgE sont de 2 types : un récepteur de forte affinité FcεRI et un récepteur de faible affinité FcεRII (CD23) :

- **Récepteur de forte affinité FcεRI**

Ce récepteur fait partie de la superfamille des récepteurs impliqués dans la reconnaissance des antigènes. Il s'agit d'un récepteur hétérotétramérique, constitué d'une sous-unité α qui se lie aux IgE, d'une sous-unité β possédant quatre domaines transmembranaires, ainsi que de deux sous-unités γ identiques (FcR γ) unies par des ponts disulfures (**figure 4**).

La sous-unité α est responsable de la liaison avec l'IgE. Elle est dotée de deux domaines de type immunoglobuline, qui semblent jouer un rôle crucial dans cette interaction. Le premier domaine contribue à la stabilisation du complexe formé par l'IgE et le récepteur, tandis que le second est directement impliqué dans la liaison de l'IgE elle-même. De plus, cette sous-unité comporte un domaine transmembranaire, qui renferme un motif conservé d'acide aspartique.

La chaîne β , qui est spécifique aux mastocytes et aux basophiles, agit comme un amplificateur de la réponse induite par les IgE.

Les deux Sous-unités γ , qui sont identiques et reliées par des ponts disulfures, jouent un rôle essentiel dans la transduction du signal. En effet, elles disposent de deux motifs activateurs appelés ITAMs (Immunoreceptor Tyrosine Based Activation Motif) (Saleh, 2013).

Fc ϵ R1 se trouve sur les mastocytes et les basophiles sous la forme de tétramères ($\alpha\beta\gamma_2$). En revanche, sur les cellules présentant un antigène, il est exprimé à des niveaux beaucoup plus faibles sous forme de trimères ($\alpha\gamma_2$) (Stone et al., 2010).

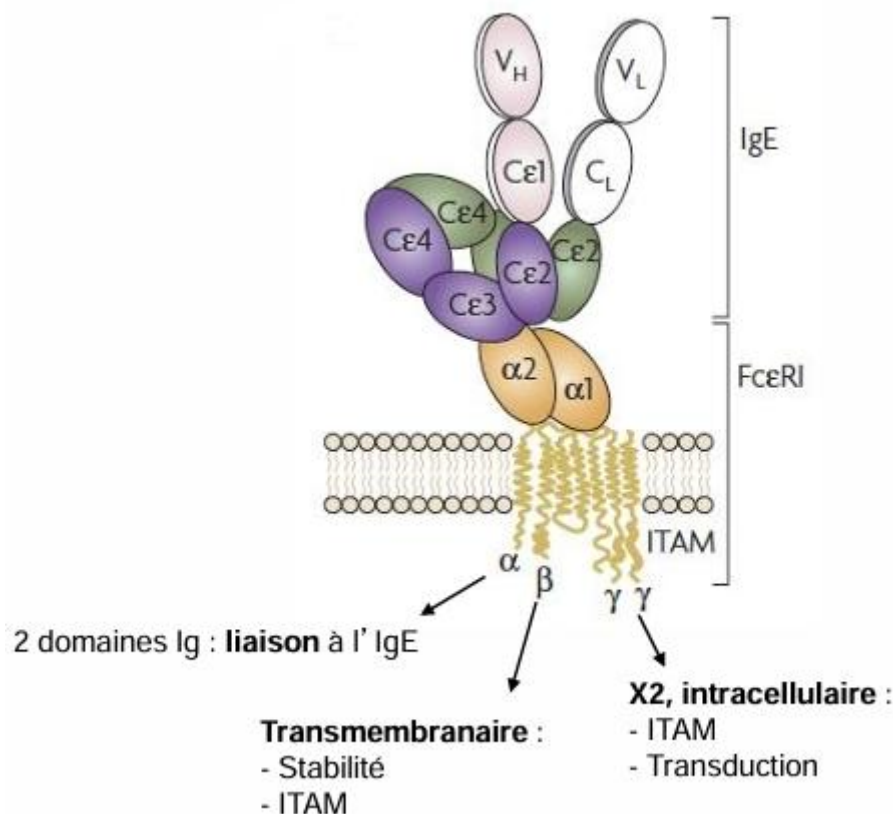


Figure 4 : Représentation schématique du Fc ϵ RI et de ses unités modulaires (Nombel, 2023)

- **Récepteur à faible affinité Fc ϵ RII**

Le récepteur à faible affinité pour les IgE, également connu sous le nom de CD23, appartient à la superfamille des lectines de type C. Sa forme membranaire se compose de trois domaines, dont une « tête » extracellulaire reliée à la membrane par un « pédoncule » constitué de trois hélices α enroulées (figure 5). Le CD23 est exprimé sous deux isoformes : le CD23a et le CD23b. Le CD23a est présent dans les cellules B qui ont été activées par des antigènes avant leur transformation en plasmocytes, et il joue un rôle clé dans la régulation de la synthèse des IgE. En revanche, l'expression du CD23b est stimulée par l'IL-4 dans diverses cellules, notamment les macrophages, les monocytes, les éosinophiles, les cellules de Langerhans, les lymphocytes T, les cellules B et les cellules épithéliales. Au sein des lymphocytes B, cette liaison est essentielle pour réguler la synthèse des IgE. Le CD23 montre une forte affinité pour le complexe

immun IgE-antigène, tandis qu'il présente une faible affinité lorsque l'IgE n'est pas associée à son antigène (*in Bouaziz, 2014*).

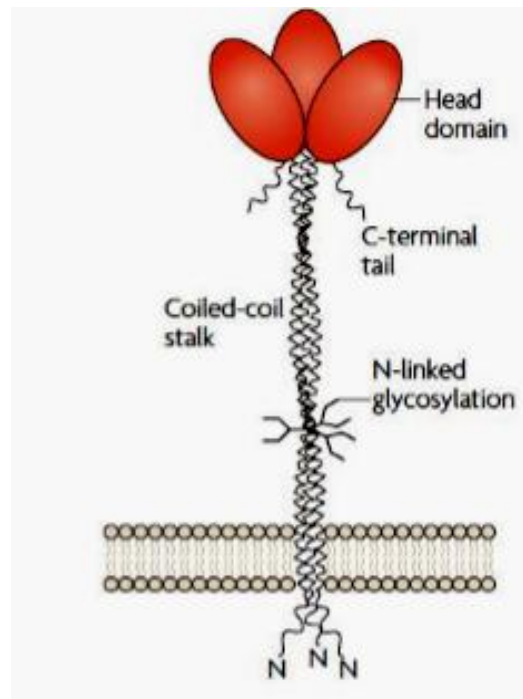


Figure 5 : Structure de récepteur CD23 (Nombel, 2023)

4.2. Différents acteurs cellulaires

Plusieurs types de cellules, notamment les mastocytes, les basophiles et les éosinophiles, libèrent des molécules médiatrices responsables des réactions allergiques.

4.2.1. Cellules dendritiques

Le terme de cellule « dendritique » vient du grec « dendron » qui veut dire arbre (**Campagnol, 2020**). DCs issues de différenciations successives des cellules souches hématopoïétiques (HSC), d'abord en progéniteurs de monocytes et de cellules dendritiques (MDP), puis en progéniteurs communs des cellules dendritiques (**Feray, 2021**). Elles constituent généralement les premiers acteurs de la réaction inflammatoire. À ce titre, elles établissent un réseau cellulaire qui agit comme une sentinelle. Leur rôle est de présenter l'antigène, et dans le cas des allergies, un allergène, aux lymphocytes T, entraînant ainsi leur sensibilisation. De plus, ces cellules possèdent des capacités migratoires et leur densité dans les tissus peut augmenter sous l'influence des cytokines (**Pisella, 2007**).

4.2.2. Mastocytes et Polynucléaires Basophiles (PNB)

Les Mastocytes, qui se présentent comme des cellules sentinelles, sont principalement localisés aux interfaces avec l'environnement, telles que la peau, le tube digestif, les voies respiratoires et la conjonctive (**Abecassis et al., 2022**), alors que, les basophiles circulent dans le sang (**Achour, 2019**). Ces deux types cellulaires partagent de nombreuses caractéristiques, notamment l'expression du récepteur FcεR1 et la sécrétion de cytokines Th2 (**Stone et al., 2010**).

Ces cellules contiennent des granules cytoplasmiques renfermant des médiateurs préformés, parmi lesquels se trouvent l'histamine et des protéases comme la tryptase et la chymase. Lors de la dégranulation, ils libèrent ces médiateurs tout en générant de nouveaux composants, tels que la prostaglandine D2, des leucotriènes, ainsi que diverses cytokines, dont le TNF-α, l'IL-5 et l'IL-13, les chimiokines (**Stone et al., 2010 ; Abecassis et al., 2022**).

4.2.3. Eosinophiles

Les éosinophiles sont souvent perçus comme des cellules effectrices spécialisées, qui sont attirées dans les tissus en réponse à des réactions cellulaires de type T helper 2 (Th2). Ces réactions sont typiquement liées à des maladies allergiques, telles que l'asthme et la rhinite allergique (**Marichal et al., 2017**). Sont des leucocytes qui se forment dans la moelle osseuse à partir de progéniteurs myéloïdes communs (common myeloid progenitors CMP), qui sont des cellules multipotentes exprimant le CD34. Leur développement et maturation dépendent de la présence de médiateurs solubles tels que l'IL-5, l'IL-3. Une fois matures, l'IL-5 ainsi que des chimiokines telles que CCL-11 et CCL-24 favorisent leur migration de la moelle osseuse vers la circulation sanguine (**Abecassis et al., 2022**).

Les éosinophiles ont la capacité de produire de nombreux médiateurs intracellulaires, ainsi la synthèse de radicaux libres, de cytokines, de chimiokines, de facteurs de croissance ainsi que de protéines présentes dans leurs granules. Parmi les cytokines pro-inflammatoires : l'interleukine 4 (IL-4), l'interleukine 6 (IL-6). Les protéines qui y sont contenues exercent toutes des fonctions cytotoxiques, les principales d'entre elles incluent la protéine basique majeure (MBP), la protéine cationique des éosinophiles (ECP), la neurotoxine dérivée des éosinophiles (EDN) et la peroxydase des éosinophiles (EPO) (**Masson, 2012**).

4.3. Médiateurs préformés

Ces médiateurs jouent un rôle crucial lors des premières étapes de la réaction allergique, provoquant des symptômes immédiats qui peuvent parfois être très graves. Ils proviennent de la dégranulation des mastocytes et contribuent à l'inflammation en augmentant la perméabilité des vaisseaux sanguins. Ces principaux médiateurs sont les amines vasoactives comme l'histamine (**da Costa, 2020**).

- **Histamines**

C'est le médiateur le plus essentiel dans le processus des réactions allergiques (**Argibaia, 2012**). Cette petite molécule est synthétisée dans l'appareil de Golgi des mastocytes et des basophiles à partir de la décarboxylation de l'histidine. Une fois produite, l'histamine se diffuse rapidement dans tout l'organisme, atteignant ses cellules cibles ainsi que leurs récepteurs membranaires spécifiques (**Boussenadji et Gharnaout, 2016**).

Lorsque l'histamine est libéré va activer 4 types de récepteurs : H1, H2, H3 et H4, et déclenche divers effets biologiques. Par exemple, elle provoque la contraction des muscles lisses via le récepteur H1, augmente la perméabilité vasculaire des cellules endothéliales grâce au récepteur H2, stimule la production de mucus et agit sur les terminaisons nerveuses par le biais du récepteur H3 (**Nyekel, 2018**).

4.4. Médiateurs néoformés

Les médiateurs néoformés interviennent lors de la phase retardée de la réaction allergique.

Les médiateurs lipidiques (prostaglandine D2, thromboxane A2, leucotriènes cystéines LTC4, LTD4 et LTD4) sont des médiateurs néoformés issus du métabolisme de l'acide arachidonique, capables d'induire ou d'entretenir l'inflammation. Les principaux médiateurs identifiés sont la prostaglandine D2 (PGD2), qui est synthétisée par les mastocytes mais pas par les basophiles, ainsi que le leucotriène C4 (LTC4) et ses produits de dégradation, le LTD4 et le LTE4, qui sont également produits par les mastocytes muqueux et les basophiles. Ils ont une activité vasomotrice et bronchoconstrictrice (**Roulou, 2013 ; Rémi, 2015**).

4.5. Cytokines et chimiokines

Les cytokines sont des glycoprotéines essentielles qui permettent la communication et la coordination entre les cellules. Elles jouent un rôle essentiel dans de nombreux processus biologiques, tels que la croissance, la différenciation et la mort cellulaire. On distingue notamment les cytokines de type « Th1 », qui sont directement impliquées dans les mécanismes de défense immunitaire médiés par les cellules, et les cytokines de type « Th2 », qui contribuent à l'inflammation et aux réactions allergiques (*in* **Bouguenoun, 2016**).

- **L'IL-4** : joue un rôle clé dans la polarisation de la réponse humorale. Elle permet avec l'IL-13, l'activation de la commutation de classe et stimule ainsi la production d'IgG1 et d'IgE. Cette interleukine augmente également l'expression des molécules du complexe majeur d'histocompatibilité (CMH) de classe II sur les lymphocytes B, ce qui améliore la présentation des antigènes, même en présence de faibles concentrations antigéniques. De plus, l'IL-4 agit comme un signal activateur pro-inflammatoire, en activant notamment les mastocytes cutanés et en favorisant leur sécrétion d'IL-5.

- **L'IL-13** : en plus de jouer un rôle crucial dans la commutation de classe des immunoglobulines, agit également sur les macrophages tout en inhibant l'IL-10. Ce mécanisme contribue à bloquer le développement d'une réponse de type Th1 antagoniste, tout en renforçant la réponse Th2 (**Awad, 2014**).
- **L'IL-3** est un facteur de croissance essentiel dans le développement de plusieurs précurseurs hématopoïétiques. Il se distingue par sa capacité à stimuler spécifiquement la prolifération des mastocytes et à favoriser leur production d'histamine.
- **L'IL-5** : est produite par différents types cellulaires, tels que les lymphocytes T, les mastocytes et les éosinophiles. Cette cytokine joue un rôle déterminant dans la différenciation, la maturation, la survie et l'activation des éosinophiles (*in* **Bouguenoun, 2016**).

5. Mécanismes de l'hypersensibilité

5.1. Hypersensibilité type I (immédiate)

Le mécanisme de la réaction allergique immédiate de type I, dépendante des IgE, se déroule en deux phases. La première phase est celle de la sensibilisation, qui se produit lors du premier contact avec l'allergène. La deuxième phase, correspond au déclenchement de la réaction allergique proprement dite, qui survient lors d'un second contact avec cet allergène (**figure 6**) (**Rommel, 2012**).

✓ Phase de sensibilisation

Cette étape est silencieuse sur le plan clinique, joue un rôle crucial en préparant l'organisme à réagir rapidement lors d'un second contact avec l'allergène. Lorsque celui-ci pénètre dans le corps, il est pris en charge par une cellule du système immunitaire qui est une cellule présentatrice d'antigènes (CPA). Dans le cas d'une allergie médiée par les IgE, les lymphocytes T sont activés et les cellules TH2 sécrètent des cytokines, notamment l'IL-4. Cette cytokine stimule les lymphocytes B qui ont déjà été en contact avec l'allergène sous sa forme native. L'IL-4 favorise également la commutation de classe des immunoglobulines vers les IgE. Les lymphocytes B activés se différencient alors en plasmocytes, qui produisent des IgE spécifiques à l'allergène.

Les IgE générées se fixent aux polynucléaires basophiles et principalement aux mastocytes via le récepteur de haute affinité FcεRI. Ainsi, dès que les allergènes circuleront à proximité de ces cellules, elles pourront se lier à eux grâce aux IgE préalablement fixées (**Lafitedupont, 2011**).

✓ Réaction allergique

Lors du second contact avec un allergène, celui-ci est spécifiquement reconnu par les immunoglobulines E (IgE) présentes à la surface des mastocytes tissulaires et des basophiles sanguins, chez un organisme préalablement sensibilisé. Lorsque l'allergène se lie à deux molécules d'IgE fixées sur ces cellules, cela induit des modifications de la membrane cellulaire qui favorisent l'entrée de calcium à l'intérieur de la cellule. Ce processus entraîne une dégranulation, entraînant la libération massive de divers médiateurs chimiques et cytokines (**Rommel, 2012**).

L'histamine ainsi libérée se fixe sur ses récepteurs, principalement de type H1, situés dans les muscles lisses, l'endothélium et le système nerveux central. Cette interaction déclenche une cascade clinique de réaction anaphylactique, conduisant en quelques minutes à une hypersécrétion de mucus, une vasodilatation, une augmentation de la perméabilité capillaire et un œdème (**Toumi, 2022**).

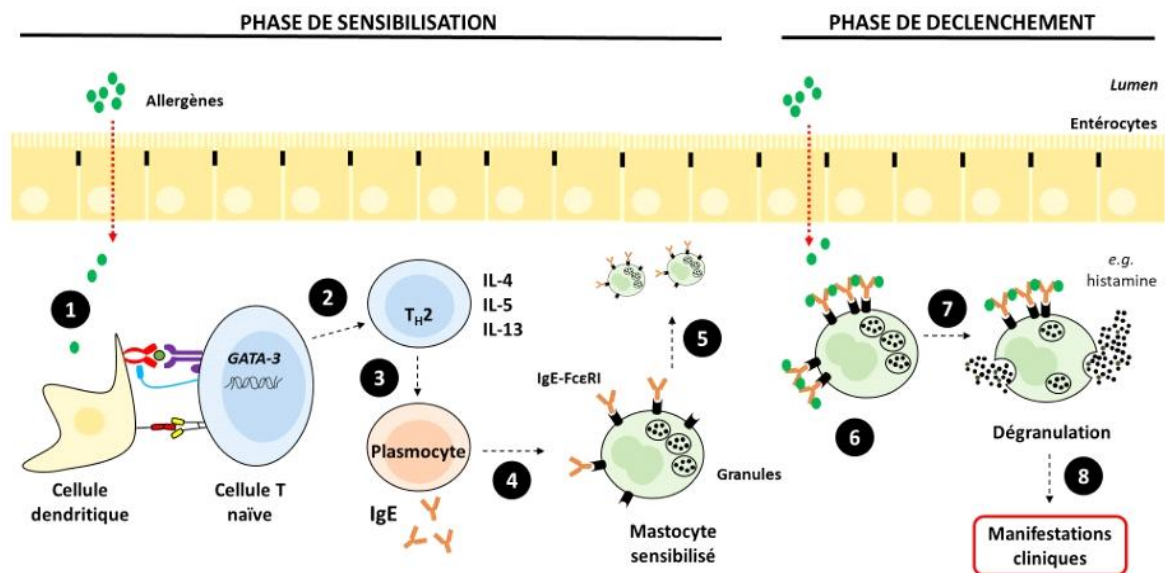


Figure 6 : Représentation schématique du mécanisme de l'allergie, hypersensibilité de type I (immédiate) (Achour, 2019)

5.2. Hypersensibilité de type II (cytotoxique)

Dans ce type de réaction immunitaire, les IgM et/ou IgG circulent librement dans le sérum, tandis que l'antigène se fixe à la surface de certaines cellules ou constitue un composant de la membrane cellulaire elle-même (**Habbad, 2018**). Lorsque les anticorps interagissent avec l'antigène, cela entraîne une lyse cellulaire ou tissulaire ; cette réaction résulte de la cytotoxicité dépendante des anticorps, médiée par les cellules NK et les macrophages ou par l'activation du système du complément (**Atamnia et al., 2022**).

5.3. Hypersensibilité de type III (hypersensibilité semi-retardée)

Elle se manifeste par une inflammation résultant de l'administration répétée d'un antigène. Dans un premier temps, le corps produit des anticorps IgM et IgG. Par la suite, lors des administrations successives de l'antigène, (**Breux, 2013**) le complément et ses facteurs entraînant la chimiotaxie des neutrophiles ainsi que la libération d'enzymes lytique par les neutrophiles désgranulés (**Atamnia et al., 2022**), cela s'accompagne également d'une activation des plaquettes et des mastocytes, ce qui déclenche une réponse inflammatoire (**figure 7**) (**Breux, 2013**).

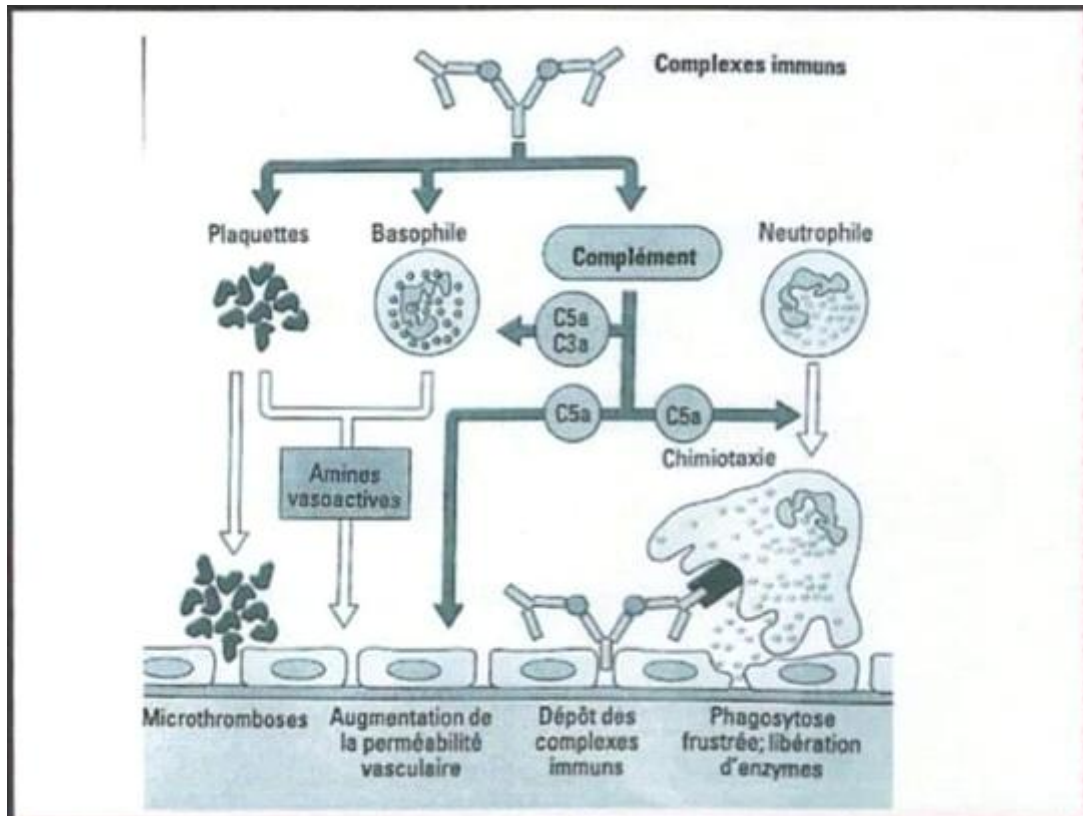


Figure 7 : Hypersensibilité de type III (Argibaia, 2012)

5.4. Hypersensibilité de type IV

Dans ce type d'hypersensibilité, il n'y a pas d'anticorps mais elle est médiée par des lymphocytes T. Cette hypersensibilité est dite retardée car les symptômes apparaissent généralement dans les 48 à 72h.

Au cours de la première phase, des antigènes présentés par les cellules présentatrice de l'antigène généreront une réponse cellulaire de type Th1, accompagnée de la formation de lymphocytes mémoire. À ce stade, aucun symptôme clinique n'est encore observable, car cette phase initiale se déroule dans les organes lymphoïdes secondaires.

Lors de la réexposition à l'antigène, les lymphocytes Th1 reconnaîtront l'antigène, ce qui conduira à la production d'IL-2. Cette cytokine favorisera le recrutement et l'activation d'autres lymphocytes T. Ces lymphocytes T nouvellement activés sécréteront des cytokines telles que l'IL-2, le TNF alpha et l'interféron gamma, ainsi que des chimiokines responsables de l'attraction et de l'activation des cellules effectrices. Ces dernières, composées de macrophages et de lymphocytes T CD4 et CD8, libéreront des substances cytotoxiques pour cibler les cellules présentant l'antigène (Breux, 2013).

6. Rhinite allergique

6.1. Définition

La rhinite allergique (RA) est une inflammation de la muqueuse nasale causée par des réactions médiées par les immunoglobulines E (IgE) (Choi et al., 2021) déclenchée par le contact avec des pneumallergènes atmosphériques (pollens et moisissures notamment) ou domestiques (tels que moisissures, blattes, acariens, phanères d'animaux) auxquels le sujet est sensibilisé (Demoly et al., 2010).

Elle se caractérise par des éternuements, un écoulement nasal, une congestion nasale, ainsi qu'une démangeaison au niveau du nez, des yeux et du palais. Il n'est pas rare que ces manifestations s'accompagnent d'un écoulement nasal postérieur, d'une toux, d'une irritabilité et d'une sensation de fatigue. Ces symptômes sont souvent le résultat d'une hypersensibilité à un ou plusieurs aéro-allergènes (Ouhab, 2019).

6.2. Classification

Au départ, la rhinite allergique (RA) était classée en deux types : la rhinite « saisonnière » et la rhinite « perannuelle », en fonction de leur occurrence au cours de l'année. En 2001, l'ARIA a proposé une nouvelle classification qui tenait compte la durée des symptômes ainsi de leur gravité.

➤ Selon l'ancienne classification de la rhinite allergique (RA) :

La rhinite allergique saisonnière : Les symptômes se manifestent uniquement à certaines périodes de l'année, principalement au printemps, et sont souvent causés par une allergie aux pollens des arbres et des graminées.

La rhinite allergique per-annuelle : Les symptômes sont présents tout au long de l'année, généralement à cause d'une hypersensibilité aux acariens ou aux phanères d'animaux (Guillaume-Gentil, 2017).

➤ Selon la nouvelle classification ARIA (Allergic rhinitis and its impact on Asthma) :

La rhinite allergique est regroupée selon deux critères principaux : la durée des symptômes et leur gravité (Tableau IV).

D'une part, en ce qui concerne la durée, les symptômes peuvent être classés comme intermittents ou persistants. On parle de rhinite allergique intermittente lorsque les symptômes se présentent moins de quatre jours par semaine ou pendant moins de quatre semaines consécutives. En revanche, la rhinite allergique persistante est caractérisée par des symptômes présents plus de quatre jours par semaine et durant plus de quatre semaines consécutives.

D'autre part, les symptômes peuvent également être évalués en termes de gravité : ils sont considérés comme légers si le patient ne souffre d'aucun trouble du sommeil et peut poursuivre ses activités quotidiennes. Les symptômes sont jugés modérés à sévères lorsqu'ils perturbent significativement le sommeil ou les activités de la vie courante, ou s'ils sont perçus comme gênants (Small et al., 2018).

Tableau IV : Nouvelle classification ARIA (Champeau, 2017)

<u>INTERMITTENTE</u>	<u>PERSISTANTE</u>
Symptômes présents \leq à 4 semaines consécutives Ou \leq à 4 jours/ semaine	Symptômes présents $>$ 4 semaines consécutives ET $>$ 4 jours/ semaine
<u>LEGERE</u>	<u>MODERNE- SEVER</u>
Pas de retentissement sur la qualité de vie : <ul style="list-style-type: none"> - Sommeil normal - Activités sociales et loisirs normaux - Activités professionnelles et/ ou scolaires normales, - symptômes peu gênants 	Retentissement sur la qualité de vie (Un de ces items suffisants) <ul style="list-style-type: none"> - Sommeil perturbé - Activité sociales et loisirs perturbés - Activités professionnelles et/ou scolaires perturbées - symptômes gênants

CHAPITRE II :

LAIT DE CHÈVRE

1. Définition du lait de chèvre

Les chèvres jouent un rôle crucial en tant que producteurs de lait dans de nombreuses régions tropicales et contribuent de façon significative à la nutrition humaine dans divers pays en développement. Souvent désignées comme « la vache du pauvre » (**Bhattarai, 2012**), elles possèdent une remarquable capacité d'adaptation à presque tous les environnements, d'accepter une faible valeur alimentaire et des conditions climatiques extrêmes. De plus, leur polyvalence et leur productivité relativement élevée en font des animaux d'élevage particulièrement précieux (**Monteiro et al., 2018**).

Le lait, en tant qu'aliment fondamental pour les mammifères, offre presque toute l'énergie et les nutriments indispensables à la croissance, au bon fonctionnement et au développement optimal des nouveau-nés (**Rai et al., 2022**).

Le lait de chèvre est un aliment d'une richesse exceptionnelle, contenant tous les éléments nécessaires à l'alimentation humaine : glucides, protéines, lipides, minéraux, vitamines, enzymes et eau. Grâce à ses composants bénéfiques, notamment des protéines d'une digestibilité remarquable riches en acides aminés essentiels, il figure parmi les aliments les plus complets pour l'organisme (**Kaskous et Pfaffl, 2025**). De plus, son profil équilibré en acides gras et sa teneur en composés bioactifs lui confèrent des propriétés qui pourraient être bénéfiques pour le traitement et la prévention de certaines affections médicales (**Zenebe et al., 2014**). L'un des principaux aspects de la demande de lait de chèvre réside dans sa consommation à domicile. Cette demande augmente en raison de l'accroissement de la population. Par ailleurs, un autre facteur majeur de cette demande provient des personnes souffrant d'allergies au lait de vache et d'autres troubles gastro-intestinaux, ce qui rend le lait de chèvre particulièrement attractif pour ces consommateurs (**Kumar et al., 2012**).

2. Composition de lait de chèvre

La composition moyenne du lait de chèvre est de 4,0 % de matières grasses, 4,3 % de lactose, 0,8 % de cendres, 3,3 % de protéines et 12,6 % de matières sèches totales (**Goel et al., 2024**).

2.1. Matière grasse

Le principal constituant de la fraction lipidique du lait de chèvre est le triacylglycérol (TAG), représentant environ 97 % de cette fraction. Ce dernier est composé d'un grand nombre d'acides gras estérifiés. En outre, la fraction lipidique contient également des lipides simples comme les diacylglycérols, les monoacylglycérols et les esters de cholestérol, ainsi que des lipides complexes tels que les phospholipides. On y trouve également des composés liposolubles comme les stérols, les esters de cholestérol et les hydrocarbures.

Le lait de chèvre présente une teneur plus élevée en acides gras à chaîne courte et moyenne, notamment en acide butyrique, caproïque, caprylique, caprique, laurique, myristique et linoléique, mais aussi en acide palmitique et linoléique. Ces acides gras possèdent des chaînes carbonées allant de 4 à 18 atomes (**Zenebe et al., 2014**). Ce lait a d'ailleurs été nommé d'après les chèvres en raison de sa riche concentration en acide caproïque, caprylique et caprique (**Rai et al., 2022**).

2.2. Protéines

Les protéines présentes dans le lait de chèvre se distinguent par leurs propriétés nutritionnelles et fonctionnelles uniques (**ALKaisy et al., 2023**). On peut les diviser en deux phases distinctes : une phase micellaire instable, composée de caséines, et une phase soluble, qui renferme les protéines de lactosérum. Les caséines représentent environ 80 % des protéines présentes dans le lait et sont classées en plusieurs types, dont les caséines α_1 , α_2 et β . Quant aux protéines de lactosérum, les deux principales sont la β -lactoglobuline et l' α -lactalbumine (**Zenebe et al., 2014**).

- **Caséines** : caséine de lait de chèvre, se subdivise en fractions de α_1 , α_2 , β et κ -caséines. Il est intéressant de noter que le niveau de la α_1 -caséine est plus faible chez la chèvre, tandis que les quantités de β -caséine sont plus élevées, avec des niveaux de κ -caséine similaires à ceux du lait bovin. Par exemple, les concentrations des fractions de caséine dans le lait de chèvre sont respectivement de 10, 3, 11 et 4 g/l pour les caséines α_1 , α_2 , β et κ . De plus, la taille des micelles de caséine dans le lait de chèvre est plus petite en raison des fortes concentrations de calcium et de phosphore. La κ -caséine de chèvre présente une chaîne de 171 résidus d'acides aminés, contrairement à celle du lait bovin qui en compte 169 (**Tafes, 2020**).
- **Lactosérum** : lactosérum se compose principalement de plusieurs protéines, dont la β -lactoglobuline (β -LG), l' α -lactalbumine (α -LA), ainsi que l'albumine sérique bovine (BSA). On y trouve également des immunoglobulines, des peptones protéosiques et une variété de protéines mineures, telles que la lactoferrine, les glycoprotéines, la lactoperoxydase et la transferrine. Dans le lait de chèvre, les concentrations de β -lactoglobuline (β -LG), d' α -lactalbumine (α -LA), d'albumine sérique bovine (BSA) et de lactoferrine sont, respectivement, de 3,1 g/L, 1,2 g/L, 0,5 g/L et entre 0,02 et 0,2 g/L (**Tafes, 2020**).
- **Acides aminés** : d'une grande importance nutritionnelle. Parmi eux, la taurine se distingue en étant un acide aminé libre présent en concentrations nettement plus élevées dans le lait de chèvre que dans celui de vache. En outre, six des dix acides aminés essentiels – à savoir la lysine, la cystine, la tyrosine, la valine, l'isoleucine et la thréonine – se retrouvent également en plus grande quantité dans le lait de chèvre que dans celui de vache (**Goel et al., 2024**).

2.3. Glucides

Les glucides contenus dans le lait de chèvre sont principalement représentés par le lactose. La concentration de lactose dans le lait de chèvre se situe entre 0,2 et 0,5 %, ce qui est légèrement inférieur à celle observée dans le lait de vache. En outre, le lait de chèvre renferme également en faibles quantités d'autres glucides tels que les oligosaccharides, les glycolipides, les glycoprotéines et les nucléotides (**Saikia et al., 2022**).

2.4. Vitamines et minéraux

Le lait de chèvre contient environ 0,70 à 0,85 % de minéraux. Il est particulièrement riche en calcium, manganèse, phosphore, potassium, magnésium, chlore et sélénium, tout en contenant moins de sodium et de soufre. Comparé au lait maternel, le lait de chèvre offre également une plus grande richesse en zinc et en iode, bien que sa concentration en fer soit moins élevée (**Kumar et al. 2012**). L'iode et les hormones thyroïdiennes jouent un rôle crucial dans le bon fonctionnement métabolique et physiologique de l'organisme (**Rai et al., 2022**).

De plus, il a été constaté que le lait de chèvre est particulièrement riche en vitamine A, grâce à la conversion du bêta-carotène en vitamine A, ce qui lui confère une couleur plus blanche que celle du lait de vache. Par ailleurs, le lait de chèvre est riche en niacine, de thiamine, de riboflavine et de pantothénate. En revanche, il présente une carence notable en acide folique et en vitamine E (**Asresie et Adugna, 2014**).

Tableau V : Concentrations (par 100 g) d'éléments nutritifs de base, de vitamines et de minéraux dans le lait de chèvre en comparaison avec le lait de vache et le lait humain (Saikia et *al.*, 2022).

Constituant	Chèvre	Vache	Humain
Nutriments de base			
Matière grasse (g)	3.8	3.6	4
Protéine	3.5	3.3	1.2
Lactose	4.1	4.6	6.9
Ash (g)	0.8	0.7	0.2
Matière sèche totale	12.2	12.3	12.3
Calories (Cal)	70.0	69.0	68.0
Minéraux			
Ca (mg)	134.0	122.0	33.0
P (mg)	141.0	119.0	43.0
Mg (mg)	16.0	12.0	4.0
K (mg)	181.0	152.0	55.0
Na (mg)	41.0	58.0	15.0
Cl (mg)	150.0	100.0	60.0
S (mg)	2.89		
Fe (mg)	0.07	0.08	0.20
Cu (mg)	0.05	0.06	0.06
Mn (mg)	0.032	0.02	0.07
Zn (mg)	0.56	0.53	0.38
I (mg)	0.022	0.021	0.007
Se (mg)	1.33	0.96	1.52
Vitamines			
Vitamine A (I.U)	185.0	126.0	190
Vitamine D (I.U)	2.3	2.0	1.4
Thiamine (mg)	0.068	0.045	0.017
Riboflavine (mg)	0.21	0.16	0.02
Niacine (mg)	0.27	0.08	0.17
Acide pantothénique	0.31	0.32	0.20
Vitamine B6 (mg)	0.046	0.042	0.011
Acide folique (µg)	1.0	5.0	5.5
Biotine (µg)	1.5	2.0	0.4
Vitamine B12	0.065	0.375	0.03
Vitamine C	1.29	0.94	5.00

2.5. Facteurs influençant la variation de la composition du lait de chèvre

Le rendement et la composition du lait de chèvre sont affectés par différents facteurs, notamment la race, l'âge, le stade de lactation, la saison, le plan nutritionnel... etc.

- **Race** : L'origine et la race des chèvres influencent de manière significative la qualité et la composition du lait. On peut distinguer deux catégories de lait de chèvre : la première, la plus répandue, provient de races indigènes, qui, bien qu'ayant un rendement laitier moyen relativement faible, présentent une

richesse élevée en matières solides totales. La seconde catégorie est issue de races hautement sélectionnées, offrant un rendement plus important, mais avec une teneur totale en matières solides relativement inférieure (Abas et al., 2014).

- **Stade de lactation** : Le stade de lactation a un impact très significatif sur la composition des différents composants du lait. En effet, les pourcentages de protéines brutes, de matières grasses et de lactose montrent des variations notables au cours des quatre étapes de la lactation (colostrum, le début, le milieu et la fin de lactation). En revanche, de pH et de cendres ne sont pas influencées par ces stades de lactation (Assan, 2014).
- **Alimentation** : L'alimentation joue un rôle crucial dans la teneur en protéines du lait de chèvre. En effet, lorsque les chèvres sont alimentées avec un régime riche en protéines, leur lait présente également une concentration plus élevée en protéines. En plus des protéines, d'autres nutriments tels que l'énergie, les minéraux et les vitamines contribuent également à la qualité du lait. Il est important de noter qu'une déficience dans l'un de ces nutriments peut affecter négativement le rendement protéique ainsi que la qualité du lait de chèvre (Alkaisy et al., 2023).
- **Saison** : La variation saisonnière des ressources alimentaires a un impact sur la teneur en lactose, laquelle est généralement plus faible durant la saison sèche par rapport à la saison humide. Cette diminution observée en période sèche pourrait s'expliquer par une nutrition plus faible durant cette saison (Assan, 2015).
- **Âge et parité** : Le lait provenant des jeunes chèvres présente généralement une teneur en matières grasses plus élevée que celui des chèvres plus âgées. La parité a un impact significatif sur la teneur en lactose du lait, les chèvres de troisième parité affichant les valeurs les plus élevées. En ce qui concerne la teneur en minéraux, celle-ci semble également être influencée par la parité (TaiwoIdowu et OlufunkeAdewumi, 2017).

2.6. Comparaison entre lait de chèvre et lait de vache

La valeur nutritive du lait de chèvre et du lait de vache est globalement comparable, cependant, le lait de chèvre se distingue par la taille plus petite de ses globules gras. Cette caractéristique favorise une digestion plus rapide et efficace du lait de chèvre.

La protéine du lait de chèvre présente une valeur nutritive de l'utilisation que celle du lait de vache (Mazroea et al., 2018) ainsi que l'absorption des acides aminés de lait de chèvre est plus efficace (Bogdan, 2016).

Le lait de chèvre présente une teneur en lactose inférieure à celle du lait de vache, entre 4,3 % et 4,8 %. Cette particularité en fait une option intéressante pour les

personnes intolérantes au lactose. De ce fait, le lait de chèvre est souvent conseillé en tant que substitut pour celles et ceux qui sont allergiques au lait de vache ou à d'autres produits alimentaires similaires (**Bogdan, 2016**).

Il a été observé que le lait de chèvre favorise une meilleure absorption du calcium, du phosphore, du fer, du cuivre, du zinc, du magnésium et du sélénium par rapport au lait de vache. De plus, le lait de chèvre contribue à améliorer l'efficacité de la régénération de l'hémoglobine (**Prosser, 2021**).

Les enzymes présentes dans le lait de chèvre présentent des similitudes avec celles du lait de vache, bien que quelques différences spécifiques aient été observées. Il est particulièrement intéressant de souligner que le niveau de phosphatase alcaline est légèrement inférieur à celui que l'on trouve dans le lait des bovins laitiers. Toutefois, cette enzyme possède une sensibilité à la chaleur comparable, ce qui en fait un marqueur efficace de la pasteurisation. Par ailleurs, l'activité de la peroxydase est identique dans le lait des deux espèces, tandis que le niveau de xanthine oxydase est plus faible dans le lait de chèvre (**Getaneh et al., 2016**).

Les nourrissons sont souvent sensibles aux protéines, avec une incidence d'environ 2 à 6 %. Des études révèlent que l'intolérance au lait de vache est fréquemment liée à la caséine alpha-s-1. Fait intéressant, la concentration de cette protéine dans le lait de chèvre est inférieure de 89 % à celle du lait de vache, ce qui le rend moins allergène. Le lait de chèvre a montré des améliorations dans les cas de coliques, de troubles digestifs mineurs, d'asthme et d'eczéma, par rapport au lait de vache, surtout chez les personnes sensibles à ce dernier (**Lad et al., 2017**).

3. Propriétés de lait de chèvre

De nombreuses recherches ont prouvé que le lait de chèvre offre des avantages nutritionnels et médicaux spécifiques pour la consommation humaine. Selon des données scientifiques, ce lait possède également des propriétés thérapeutiques dans le traitement de diverses maladies (**Mohammed, 2018**). Parmi celles-ci, on peut souligner ses effets immunomodulateurs, ses propriétés antiallergiques, ainsi que ses actions anti-inflammatoires et anti-oxydantes. De plus, le lait de chèvre révèle des atouts antimicrobiens et anticancéreux.

3.1. Valeurs nutritionnelles

3.1.1. Source de composés bioactifs

Le lait de chèvre se distingue par sa richesse en composés bioactifs, offrant ainsi une protection précieuse contre diverses maladies. Parmi ces composés, on retrouve principalement les polyamines, les sucres nucléotidiques, les acides aminés libres, les acides gras à chaîne moyenne, les acides gras polyinsaturés, les protéines sériques, ainsi que des composés antioxydants et des oligosaccharides (**Verma et al., 2020**). Ces éléments peuvent jouer un rôle crucial dans la prévention de la dégénérescence

neurologique, des maladies cardiovasculaires et des troubles métaboliques, tout en favorisant la santé intestinale (**Rai et al., 2022**).

3.1.2. Digestibilité

Le lait de chèvre se distingue du lait de vache par une meilleure digestibilité, principalement en raison de ses différences de composition en acides gras. En effet, la taille plus petite des globules gras présents dans le lait de chèvre est l'un des facteurs qui contribuent à cette digestibilité accrue. De plus, la proportion de micelles de caséine de petite taille est plus élevée dans le lait de chèvre, ce qui explique la meilleure digestibilité du lait de chèvre et de ses produits laitiers. Le lait de chèvre contient généralement une quantité moindre de caséine α -s et contient souvent plus de caséines α s2 que de caséine α s1. En outre, les protéines β -caséine et kappa-caséine se retrouvent en plus grande quantité dans le lait de chèvre que dans celui de vache, ce qui favorise la formation d'un gel plus léger, améliorant ainsi la digestibilité (**Sonu et Basavaprabhu, 2020**).

3.1.3. Troubles de Malabsorption

Les troubles de malabsorption désignent des conditions résultant d'un dysfonctionnement dans l'absorption des nutriments alimentaires par le tube digestif. Cette malabsorption peut conduire à des carences en divers nutriments, notamment en vitamine B12, en acide folique et en fer, ainsi qu'en d'autres minéraux, vitamines et macronutriments essentiels.

En revanche, les régimes alimentaires à base de lait de chèvre semblent offrir une meilleure utilisation digestive des graisses et des protéines. Ils se distinguent également par un coefficient de digestibilité apparent plus élevé, ainsi qu'une absorption optimisée de minéraux tels que le calcium, le phosphore, le magnésium, le fer, le cuivre, le zinc et le sélénium. Cette utilisation métabolique efficace des minéraux présents dans le lait de chèvre pourrait s'expliquer par sa teneur supérieure en protéines, en cystéine, ainsi qu'en vitamines C et D (**figure 8**) (**Yadav et al., 2016**).

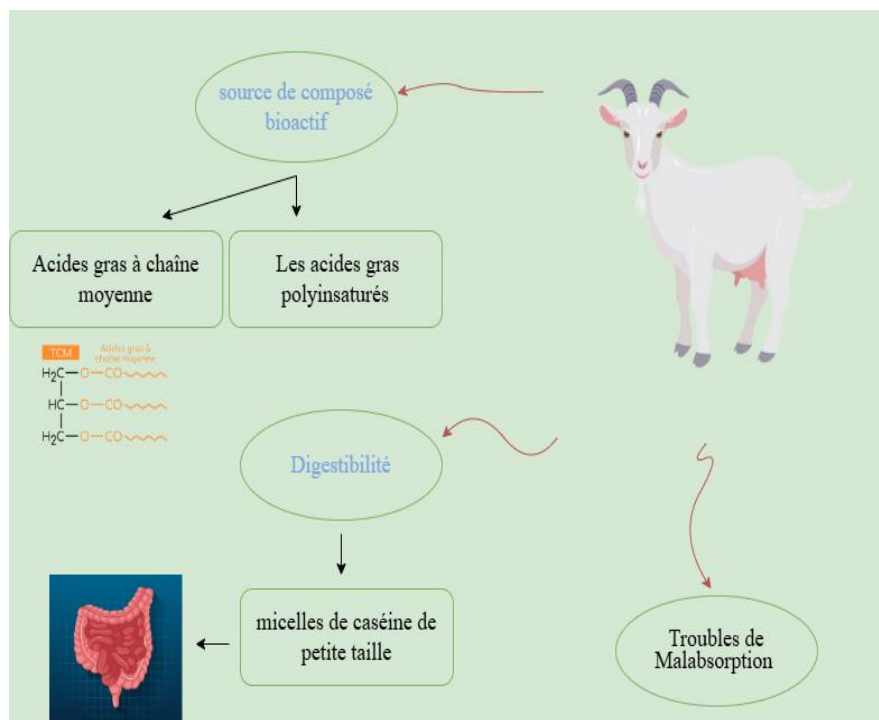


Figure 8 : Propriétés nutritionnelles du lait de chèvre (schéma de synthèse)

3.2. Propriétés thérapeutiques

3.2.1. Propriété anti-inflammatoire

La lactoferrine, une protéine présente dans le lait de chèvre, possède des propriétés remarquables anti-inflammatoires. Ce composé, qui lie le fer, se retrouve également dans la salive, les larmes et divers autres liquides organiques. De nombreuses études ont démontré que lactoferrine peut moduler la réponse immunitaire, inhiber la croissance de bactéries et de virus, et réduire l'inflammation. Son efficacité pour réduire l'inflammation a été validée dans des modèles animaux d'arthrite, de colite et d'autres maladies inflammatoires (Tillib *et al.*, 2014).

Le lait de chèvre est également riche en protéines de lactosérum, dont les propriétés anti-inflammatoires ont été clairement établies (Alkaisy *et al.*, 2023). Ces protéines renferment plusieurs peptides bioactifs (Ahmed *et al.*, 2015) qui jouent un rôle essentiel dans la modulation du système immunitaire, la réduction de l'inflammation et l'amélioration de la santé intestinale (Alkaisy *et al.*, 2023).

Les Oligosaccharides contenus dans le lait de chèvre exercent un effet anti-inflammatoire en stimulant la production de butyrate. Ils contribuent également à diminuer la présence de bactéries pro-inflammatoires en inhibant leur adhésion à la membrane épithéliale et leur translocation dans l'organisme. Le butyrate, agit en inhibant le facteur nucléaire κ B, qui joue un rôle central dans la régulation des gènes cellulaires liés aux réponses inflammatoires immunitaires précoces, tels que la cyclooxygénase-2, l'IL-1b, l'IL-2, l'IL-6, et l'IL-12 (Wadhvani *et al.*, 2023).

3.2.2. Propriété antimicrobienne

L'activité antimicrobienne du lait est principalement due à la présence d'immunoglobulines et d'autres protéines, telles que lactoferrine, lactoperoxydase et lysozyme (Lima et al., 2018).

Le lait de chèvre, réputé pour sa facilité de digestion, permet à l'enzyme gastrique pepsine de former des peptides dotés d'une activité antimicrobienne ciblant les bactéries Gram-négatives. En effet, ce lait contient une protéine appelée lactoperoxydase (LP), qui se montre particulièrement efficace contre de nombreuses bactéries pathogènes, y compris celles responsables de maladies telles que la typhoïde (*Salmonella typhi*), le choléra (*Vibrio cholera*), la dysenterie (*Shigella dysenteriae*), la pneumonie (*Klebsiella pneumoniae*) et les intoxications alimentaires (*Staphylococcus aureus*) (Saikia et al., 2022). Par ailleurs, une activité antimicrobienne a également été observée dans la caséine α_2 , qui est décomposée par l'enzyme gastro-intestinale pepsine (Kaskous et Pfaffl, 2025).

3.2.3. Propriété anti-oxydante

Les peptides antioxydants suscitent un intérêt croissant de la part des chercheurs, en raison de leur potentiel à prévenir ou retarder la détérioration oxydative des aliments, prolongeant ainsi leur durée de conservation. Les protéines présentes dans le lait de chèvre peuvent être hydrolysées in vitro à l'aide d'enzymes ou fermentées par des bactéries lactiques, donnant naissance à de puissants peptides antioxydants (Ahmed et al., 2015). Ces peptides se distinguent par leur capacité à piéger les radicaux libres, à chélater le fer et à inhiber l'auto-oxydation des acides gras polyinsaturés (De Gobba et al., 2014). Par ailleurs, plusieurs études ont permis d'identifier cinq peptides antioxydants dans un hydrolysate de caséine de lait de chèvre, élaboré à partir des enzymes alcalase et pronase. Ces peptides sont : VYPF, FPYCAP, FGGMAH, PYPYETY et YVPEPF (Kumar et al., 2016).

3.2.4. Propriété prébiotique

Le lait de chèvre se distingue par sa forte teneur en oligosaccharides, comparable à celle du lait maternel et du lait de vache. Ces oligosaccharides sont reconnus pour leur rôle prébiotique dans l'intestin, contribuant ainsi à la santé du système digestif. Ils favorisent la prolifération de bactéries bénéfiques, telles que les bifidobactéries, dans notre intestin. Celles-ci offrent de nombreux avantages pour la santé, notamment en renforçant le système immunitaire, en prévenant les infections pathogènes, en possédant des propriétés anticancéreuses et en aidant à réduire le cholestérol. De plus, elles améliorent la digestion du lactose (Kishore et Kumar, 2023).

3.2.5. Propriété immunomodulatrice

Il a été établi que les protéines présentes dans le lait de chèvre possèdent des propriétés immunomodulatrices, ce qui peut aider à améliorer le fonctionnement du

système immunitaire. Des études ont révélé que la consommation de lait de chèvre peut jouer un rôle dans la régulation de la réponse immunitaire et renforcer la capacité de l'organisme à lutter contre les infections et les maladies (**Alkaisy et al., 2023**). De plus, il a été observé que lait de chèvre peut stimuler la libération d'oxyde nitrique (NO) par les cellules sanguines, ainsi que déclencher la production de cytokines telles que l'IL-10, le TNF- α et l'IL-6 (**Park et Haenlein, 2017**).

La libération d'oxyde nitrique (NO) pourrait exercer des effets bénéfiques sur la santé cardiaque des consommateurs de lait de chèvre, tout en montrant des propriétés antibactériennes qui contribuent à prévenir certaines maladies (**Tiwari et al., 2022**).

TNF- α est une cytokine pro-inflammatoire, tandis que l'IL-6 agit comme un réactif de phase aiguë et joue un rôle de facteur de croissance pour les lymphocytes B. De son côté, l'IL-10 est une cytokine connue pour ses propriétés anti-inflammatoires. Des recherches ont suggéré que le mélange de ces cytokines libérées pourrait contribuer au maintien de l'homéostasie immunitaire, notamment grâce aux bienfaits du lait de chèvre (**Yadav et al., 2016**).

Le colostrum de chèvre pourrait être conseillé aux personnes ayant une immunité affaiblie, car il a la capacité de renforcer leur système immunitaire. En effet, le lait de chèvre est riche en sélénium, avec une teneur de 40 %. Il a été démontré qu'il existe une corrélation entre la vitamine E et le sélénium, ce qui suggère que ces deux éléments contribuent à fortifier le système immunitaire. Ainsi, grâce à sa richesse en sélénium, lait de chèvre offre des perspectives prometteuses pour le soutien du système immunitaire (**Hammam et al., 2021**).

3.2.6. Propriété anti-hypertensive

De nombreuses études épidémiologiques ont établi un lien entre la consommation de lait de chèvre et de ses produits laitiers et une réduction du risque d'hypertension. Cela pourrait s'expliquer par leur teneur élevée en minéraux tels que le calcium, le potassium et le magnésium, ainsi que par certaines protéines présentes dans ces produits et leurs hydrolysats, qui joueraient un rôle dans leur effet antihypertenseur (**Lima et al., 2018**).

Ibrahim et al. (2017) ont souligné que les protéines du lactosérum et de caséine présentes dans lait de chèvre avaient la capacité d'inhiber l'enzyme de conversion de l'angiotensine. Cette enzyme joue un rôle crucial dans la régulation de la pression artérielle en produisant l'angiotensine II, un puissant vasoconstricteur. Ainsi, leurs résultats indiquent que lait de chèvre pourrait agir comme un ensemble de peptides bioactifs ayant des propriétés antihypertensives, contribuant ainsi à la prévention de troubles associés (**figure 9**).

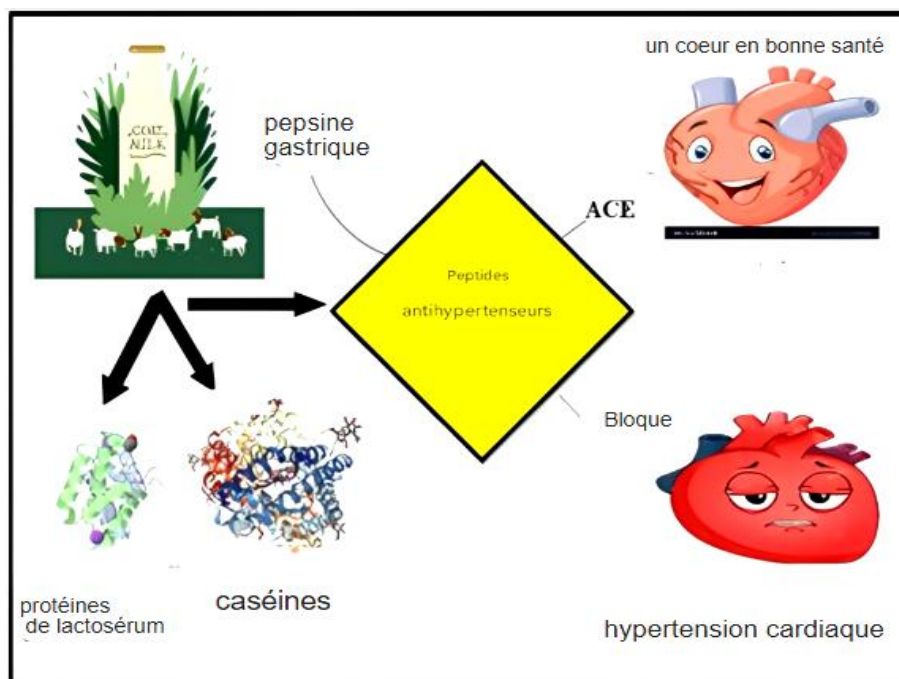


Figure 9 : Bienfaits du lait de chèvre pour la santé (Tiwari et *al.*, 2022)

3.2.7. Propriété anti diabétique

Certaines études ont révélé qu'un régime composé de lait de chèvre pourrait améliorer l'homéostasie du glucose et la santé pancréatique chez des souris souffrant de diabète de type 2. Cette amélioration est associée à des profils métaboliques sanguins optimisés ainsi qu'à l'activation de voies de signalisation intracellulaire dans le pancréas. Il convient de souligner que l'effet du lait de chèvre sur l'homéostasie du glucose pourrait être lié à la protéine kinase activée par l'adénosine monophosphate, dans le foie et dans le muscle squelettique (Kaskous et Pfaffl, 2025).

3.2.8. Renforce les os

Le lait de chèvre et ses dérivés constituent d'excellentes sources de calcium, un minéral essentiel pour maintenir la solidité et la densité osseuses. Ce processus, connu sous le nom de minéralisation osseuse, pourrait jouer un rôle préventif contre l'ostéoporose. Par ailleurs, des études ont révélé que l' α s2-caséine présente dans le lait de chèvre contribue à réparer la structure du collagène dans l'os trabéculaire du fémur, assurant ainsi la solidité et l'intégrité de nos os (Fatchiyah et *al.*, 2015).

3.2.9. Propriété sur la santé cardiaque

Le lait de chèvre est riche en triglycérides à chaîne moyenne (TCM), notamment en esters d'acides gras caproïque, caprylique et caprique. Des études ont démontré que ces TCM exercent un effet hypocholestérolémiant sur le taux de cholestérol plasmatique et qu'ils contribuent à inhiber ou à limiter le dépôt de cholestérol dans les tissus. De plus, les TCM contenus dans le lait de chèvre possèdent des propriétés anti-athérogènes.

Une recherche *in vitro* a révélé que des cellules humaines isolées, ayant consommé du lait de chèvre provenant de différentes races, libéraient de l'oxyde nitrique (NO) sous l'effet de certains composants présents dans le lait. Ce NO pénètre ensuite dans la circulation sanguine via le système lymphatique, entraînant une vasodilatation et jouant ainsi un rôle protecteur pour le cœur tout en limitant l'athérosclérose (**figure 10**) (Mohammed, 2018).

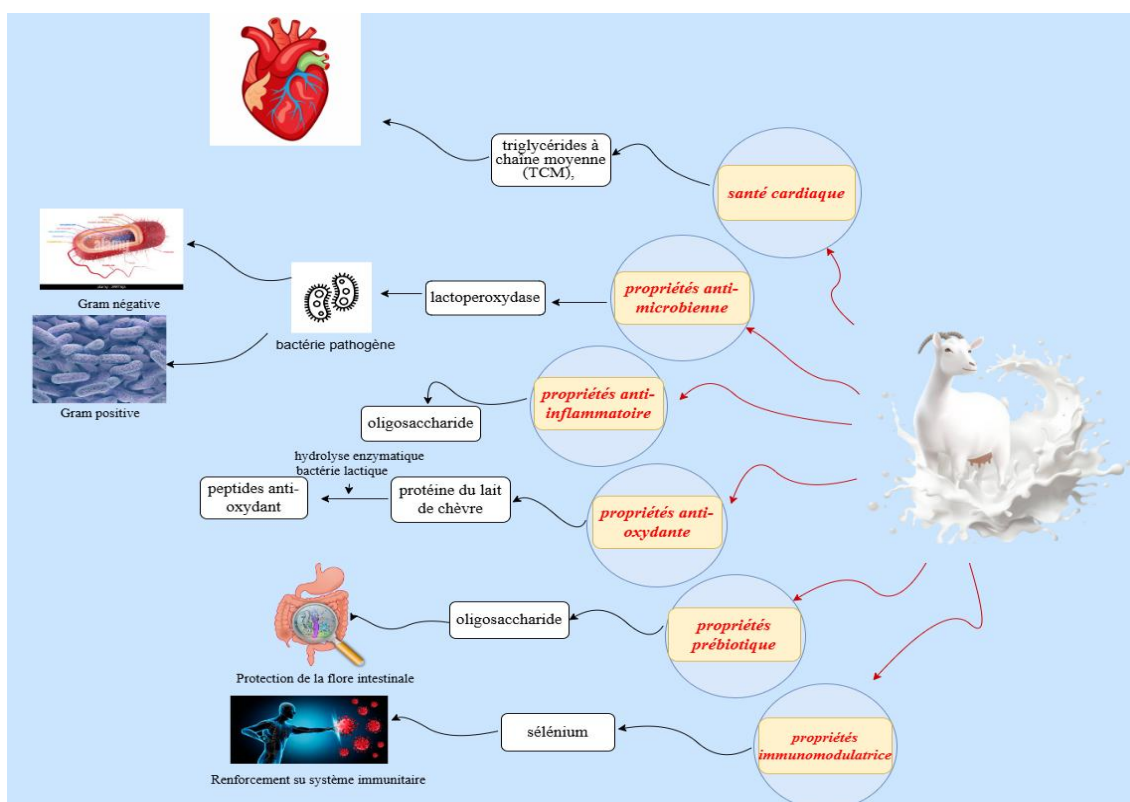


Figure 10 : Propriétés thérapeutiques du lait de chèvre (schéma de synthèse)

4. Effet anti allergique du lait de chèvre

Les propriétés hypoallergéniques du lait de chèvre revêtent une grande importance pour la santé humaine et la médecine, suscitant un intérêt croissant parmi les producteurs et les consommateurs de lait de chèvre, en particulier dans les pays développés ces dernières années (Park et Haenlein, 2017).

Le lait de chèvre offre des bénéfices pour le système immunitaire qui peuvent être attribués à une combinaison de sa faible allergénicité naturelle, en particulier en raison des caséines alphaS1 (Lad et al., 2017), ainsi qu'à la création de peptides bioactifs qui modulent l'immunité lors de sa digestion (Ahmed et al., en 2015). En outre, les oligosaccharides présents dans le lait de chèvre jouent un rôle prébiotique en nourrissant spécifiquement les bonnes bactéries de l'intestin, telles que les bifidobactéries. Avoir un microbiote intestinal sain et équilibré est essentiel pour la modulation du système immunitaire (Kishore et Kumar en 2023).

Cette activité anti-allergique de lait de chèvre semble résulter de l'interaction de différents composants bioactifs qui diminuent les marqueurs spécifiques impliqués dans la réponse allergique (Lad et al., 2017) telles que l'IL-1 et l'IL-8 (Jirillo et Magrone, 2014), et peut également diminuer de manière significative le niveau d'IL-6 (Sunarti et al., 2015). Les taux des IgE et IgG1, ainsi que les niveaux d'IL-4 et d'IL-17A, se sont révélés être plus faibles, de plus les concentrations d'histamine plasmatique également réduites tandis que celles de l'IFN- γ étaient plus élevées (Benjamin-van Aalst et al., 2024). Cela suggère que cette administration régule la réponse immunitaire Th2 en induisant des Tregs producteurs d'IL-10 et de TGF- β au niveau des muqueuses, ce qui inhibe les symptômes d'hypersensibilité et la réponse allergique (Smaldini et al., 2015). L'IL-10 joue un rôle crucial dans le maintien de l'homéostasie immunitaire de l'hôte (Jirillo et Magrone, 2014) en supprimant la production de cytokines pro-inflammatoires telles que le TNF- α . Cela contribue à l'immunosuppression et aide ainsi à prévenir les réactions aux antigènes (Lad et al., 2017).

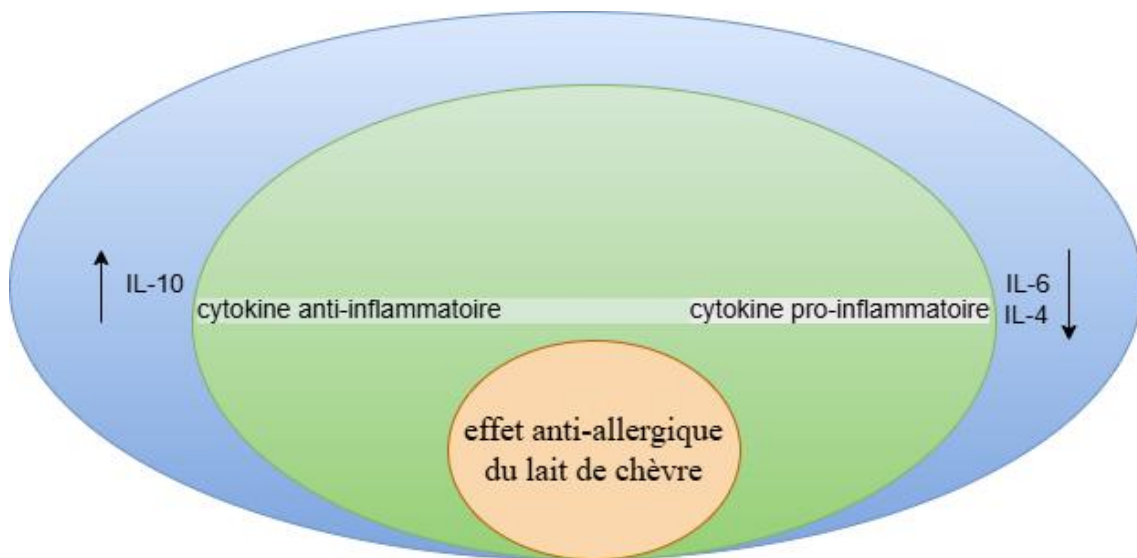


Figure 11 : Effet anti-allergique du lait de chèvre (schéma de synthèse)

Discussion

Le lait de chèvre de plus en plus reconnu pour ses propriétés anti-allergiques grâce à sa composition. En comparaison avec le lait de vache, il se caractérise par une quantité inférieure en alpha s1-caséine. Cette protéine est reconnue comme l'un des allergènes majeurs provoquant des réactions immunitaires chez ceux qui sont sensibles au lait de vache.

Il contient non seulement une quantité réduite d'alpha s1-caséine, mais il est également actif sur le plan biologique en raison de sa forte concentration en nutriments et en substances biologiquement actives qui peuvent aider à renforcer le système immunitaire et à favoriser la santé globale.

Dans le contexte d'un modèle de rhinite allergique, l'utilisation de lait de chèvre a affiché des résultats intéressants. Bien qu'il n'existe pas d'explication claire sur les mécanismes précis, les données cliniques et biologiques sont très significatives. Une diminution significative du nombre de globules blancs a été observée, ainsi qu'une réduction des cellules effectrices, comme les éosinophiles et les mastocytes qui jouent un rôle dans la réaction allergique, dans le sang. Ces diminutions laissent penser à une modulation de la réponse immunitaire globale, entraînant une réduction notable des symptômes associés à la rhinite allergique.

Les symptômes de la rhinite allergique tels que frottements nasaux semblent être développés à des niveaux inférieurs chez les souris ayant reçu du lait de chèvre. Cela suggère que le lait de chèvre pourrait influencer le processus inflammatoire et immunitaire à l'origine des symptômes cliniques de la rhinite allergique.

Cependant, pour valider et mieux comprendre l'effet direct du lait de chèvre contre les allergies, des recherches supplémentaires sont requises. Il est crucial de réaliser une analyse histologique des cavités nasales supérieures. Cette méthode donnerait la possibilité d'observer directement le recrutement des cellules effectrices, telles que les mastocytes et les éosinophiles, dans les tissus nasaux. Une baisse de recrutement de ces cellules précisément au niveau le site de l'allergie fournirait une indication plus claire de l'effet anti-allergique du lait de chèvre, complétant ainsi les constatations réalisées dans le sang.

Par ailleurs, le dosage des cytokines pro-inflammatoires telles que l'IL-4 et l'histamine fournit un aperçu moléculaire de la réaction immunitaire. Si le lait de chèvre présente des caractéristiques anti-allergiques, on devrait s'attendre à une réduction notable des niveaux d'IL-4 après son administration. Cela signifierait une modulation de la réponse immunitaire, se dirigeant vers un profil moins allergique, ce qui aiderait à atténuer les symptômes.

L'examen histologique et le dosage des cytokines et médiateurs comme l'histamine servent non seulement à valider la réduction des signes cliniques, mais également à comprendre les mécanismes par lesquels le lait de chèvre exerce son effet anti-allergique.

Conclusion

Conclusion

Notre étude visait à évaluer le potentiel anti-allergique du lait de chèvre sur la rhinite allergique. Face à la prévalence croissante de cette allergie et la recherche de solution naturelle, notre travail s'est interrogé sur le rôle que pourrait jouer le lait de chèvre comme aliment bioactif dans la prévention des allergies.

L'ensemble de nos résultats (tendance à la diminution des symptômes de l'allergie et des globules blancs totaux) permettent de supposer un rôle anti-allergique du lait de chèvre dans notre modèle d'étude. Ces données ouvrent la voie à l'exploration du lait de chèvre comme complément alimentaire potentiel dans la prévention de la rhinite allergique.

Références bibliographiques

- Abbas, H. M., Hassan, F. A. M., Abd El-Gawad, M. A. M & Enab, A.K. (2014).** Life Science Journal ,11(1s), 307-317.
- Abecassis, A., Vitte, J., Sahli, W., & Michel, M. (2022).** Cellules de l'allergie : Mise au point sur les mastocytes et les éosinophiles. Revue Française d'Allergologie, 62(7), 598-603. <https://doi.org/10.1016/j.reval.2022.03.007>
- Achour, J. (2019).** Évaluation du risque allergénique des protéines de graines de tournesol. Revue Française d'Allergologie. Thèse doctorat, Université de Paris. PP :46-50. <https://doi.org/10.1016/j.reval.2019.02.027>
- Agnès, B. (2016).** L'allergie alimentaire IgE médiée chez l'enfant. Thèse doctorat, Université Claude Bernard, Lyon. PP : 10.
- Ahmed, A. S., El-Bassiony, T., Elmalt, L. M., & Ibrahim, H. R. (2015).** Identification of potent antioxidant bioactive peptides from goat milk proteins. Food Research International, 74, 80-88. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.032>
- Alkaisy, Q. H., Al-Saadi, J. S., AL-Rikabi, A. K. J., Altemimi, A. B., Hesarinejad, M. A., & Abdelmaksoud, T. G. (2023).** Exploring the health benefits and functional properties of goat milk proteins. Food Science & Nutrition, 11(10), 5641-5656. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3531>
- Argibaia, C. (2012).** Mise au point sur l'allergie au titane en Odontologie. Thèse doctorat, Université Nancy, Metz. P : 51.
- Asresie, A., & Adugna, M. (2014).** Bioactive Properties of Goat Milk: It's Hypoallergenic, Nutritional. Global Journal of Animal Scientific Research. 2(4):315-320.
- Assan, N. (2014).** Effect of breed, stage of lactation and nutrition on milk production traits in goats. Scientific Journal of Review, 3(12), 985-992.
- Assan, N. (2015).** Effects of nutrition on yield and milk composition in sheep and goats. Scientific Journal of Animal Science, 4(10), 1-10.
- Awad, A. (2014).** Les cellules Natural Killer (NK) dans l'allergie : Effet de la chimiokine CCL18 sur les cellules NK humaines et rôle des cellules NK sur les éosinophiles. Thèse doctorat, Université Lille 2. PP: 35.
- Benjamin-van Aalst, O., Dupont, C., Van Der Zee, L., Garssen, J., & Knipping, K. (2024).** Goat Milk Allergy and a Potential Role for Goat Milk in Cow's Milk Allergy. Nutrients, 16, 2402. <https://doi.org/10.3390/nu16152402>
- Bezerra Barros, G. C., Paiva Ferreira, L. K. D., Ferreira, L. A. M. P., Mozzini Monteiro, T., Alves, A. F., Pereira, R. D. A., & Piuvezam, M. R. (2020).** 4-Carvomenthenol ameliorates the murine combined allergic rhinitis and asthma syndrome by inhibiting IL-13 and mucus production via p38MAPK/NF-κB signaling pathway axis. International Immunopharmacology, 88, 106938. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2020.106938>
- Bhattarai, R. R. (2012).** Importance of Goat Milk. Journal of Food Science and Technology Nepal, 7, 107-111. <https://doi.org/10.3126/jfstn.v7i0.11209>

- Blank, U., & Vitte, J. (2014).** Les médiateurs du mastocyte. *Revue Française d'Allergologie*, 55(1), 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.reval.2014.10.002>
- Boberg, E., Johansson, K., Malmhäll, C., Calvén, J., Weidner, J., & Rådinger, M. (2020).** Interplay Between the IL-33/ST2 Axis and Bone Marrow ILC2s in Protease Allergen-Induced IL-5-Dependent Eosinophilia. *Frontiers in Immunology*, 11:1058, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01058>
- Bogdan, N. (2016).** Composition and Characteristics of Goat Milk. *Modern Technologies, in the Food Industry*, 135-140.
- Bollini, C. (2020).** Les allergies de contact au cabinet dentaire. Thèse doctorat, Université Lorraine. P : 17.
- Borry, A. (2018).** L'allergie aux acariens : mécanisme immunologique, stratégies thérapeutiques et conseils à l'officine. Thèse doctorat, Université Lille 2. P : 19.
- BOUGUENOUN, I. (2016).** Identification et caractérisation immunologique d'un type pollinique allergisant dans l'atmosphère d'Oued Zenati – GUELMA (Nord- Est de l'Algérie). Thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945, GUELMA. P : 17-20.
- Boussenadji, M., & Gharnaout, M. (2016).** 1-Service d'anesthésie-réanimation chirurgicale, HCA, 2-Service de Pneumologie, de phtisiologie et d'Allergologie, Hôpital de Rouiba Université Alger 1, faculté de médecine.
- Bouaziz A. 2014.** Mise au point d'une forme stable de l'allergène Der p 3 de *Dermatophagoides pteronyssinus* pour le diagnostic rapide et le développement de nouvelles approches d'immunothérapie de l'allergie aux acariens. [Thèse]. Université de Liège, Liège (Belgique). 106p.
- BREUX, B. (2013).** L'allergie alimentaire de la petite enfance à l'adolescence : cas de l'allergie aux protéines du lait de vache. Thèse de doctorat, Université de Lille 2, France. P : 9-58.
- Campagnol, A. (2020).** L'allergie au sésame : Définition de l'allergie, les moyens de préventions, les conséquences sur la vie sociale, analyses statistiques associées et étude de cas. Thèse doctorat, Université Bordeaux. P : 30.
- Champeau, A. (2017).** Prise en charge de la rhinite allergique chez l'adulte par les médecins généralistes installés et les internes de médecine générale à la Réunion. Thèse doctorat, Université Bordeaux. P : 24.
- Chiriac, A. M., & Demoly, P. (2013).** Allergies respiratoires. *La Presse Médicale*, 42(4), 395- 404. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2012.06.005>
- Choi, S., Jung, M.-A., Hwang, Y.-H., Pyun, B.-J., Lee, J. Y., Jung, D. H., Ji, K.-Y., & Kim, T. (2021).** Anti-allergic effects of *Asarum heterotropoides* on an ovalbumin-induced allergic rhinitis murine model. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 141, 111944. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111944>
- Ciabринi, H. (2021).** Terrain atopique et allergie : Exemple de l'allergie aux acariens. Thèse doctorat, Université Marseille. PP : 11-13.
- Da Costa, M.-A. (2020).** Allergie aux acariens : Mécanismes immunologiques, prévention, stratégies thérapeutiques. Thèse doctorat, Université Lorraine. PP : 37.
- David, P. B. (2017).** Les allergènes : Mythe ou réalité. 40e journée du GAICRM-Groupement d'allergologie et d'immunologie clinique du Rhône Moyen, Rochede, France. Ff pasteur-01556765. PP: 30.

- De Gobba, C., Espejo-Carpio, F. J., Skibsted, L. H., & Otte, J. (2014).** Antioxidant peptides from goat milk protein fractions hydrolysed by two commercial proteases. *International Dairy Journal*, 39(1), 28-40. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.03.015>
- Demoly, P., Dupont, H., Mertes, M., & Mertes, P. M. (2013).** L'allergie aux antibiotiques. 276-286.
- Demoly, P., Klossek, J. M., Serrano, É., & Didier, A. (2010).** Efficacité des corticoïdes par voie nasale sur les symptômes oculaires de la rhinite allergique. *Revue Française d'Allergologie*, 50, 419-425. <https://doi.org/10.1016/j.reval.2010.03.002>
- Dong, S. (2012).** Réactions d'hypersensibilité immédiate en anesthésie : Épidémiologie et risques environnementaux. Thèse doctorat, Université Lorraine. PP : 13-14.
- Dupire, G., & Vaia, E.-S. (2015).** L'allergie médicamenteuse. Clinique d'Immuno-Allergologie, CHU Brugmann, Université libre de Bruxelles (ULB).
- Engeroff, P., & Vogel, M. (2019).** Le rôle des récepteurs de l'IgE dans le contrôle de la réaction allergique. *Revue Française d'Allergologie*, 59(3), 204-206. <https://doi.org/10.1016/j.reval.2019.02.198>
- Evrard, B. (2020).** Physiopathologie de l'allergie IgE-dépendante. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2020(521), 20-31. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(20\)30124-6](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(20)30124-6)
- Fatchiyah, F., Setiawan, B., Suharjono, S., & Noor, Z. (2015).** The anti-osteoporosis effects of CSN1S2 protein of goat milk and yoghurt on a complete Freund's adjuvant-induced rheumatoid arthritis model in rats. *Biomarkers and Genomic Medicine*, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.bgm.2015.10.001>
- Feray, A. (2021).** Impact de l'environnement sur la réponse lymphocytaire T reconnaissant les β -lactamines: rôles dans les mécanismes allergiques. Thèse de doctorat, Université Paris-Saclay. PP : 28.
- Getaneh, G., Mebrat, A., Wubie, A., & Kendie, H. (2016).** Review on Goat Milk Composition and its Nutritive Value. *Journal of Nutrition and Health Sciences*, 3(4). <https://doi.org/10.15744/2393-9060.3.401>
- Goel, R., Kaushik, R., & Shukla, P. (2024).** Goat Milk: Bespoke for Multi-Therapeutic Effects. *African Journal of Biomedical Research*, 27, 2121-2131.
- Guillaume-Gentil, S. (2017).** La rhinite allergique. Service de médecine de premier recours, HUG. PP : 3.
- Habbad, S. (2018).** Allergie aux acariens. Thèse doctorat Université Mohammed v, Rabat. PP: 11.
- Hammam, A. R. A., Salman, S. M., Elfaruk, M. S., & Alsaleem, K. A. (2021).** Goat Milk: Compositional, Technological, Nutritional, and Therapeutic Aspects. *BIOLOGY*. <https://doi.org/10.20944/preprints202108.0097.v1>
- Ibrahim, H. R., Ahmed, A. S., & Miyata, T. (2017).** Novel angiotensin-converting enzyme inhibitory peptides from caseins and whey proteins of goat milk. *Journal of Advanced Research*, 8(1), 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2016.12.002>
- Igea, J. M. (2013).** The history of the idea of allergy. *Allergy*, 68(8), 966-973. <https://doi.org/10.1111/all.12174>
- Jirillo, F., & Magrone, T. (2014).** Anti-inflammatory and Anti-Allergic Properties of Donkey's and Goat's Milk. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders-Drug Targets*, 14(1), 27-37. <https://doi.org/10.2174/1871530314666140121143747>

- Kaskous, S., & Pfaffl, M. W. (2025).** Importance of goat milk for human health and nutrition. *Food Nutrition Chemistry*, 3(1), 285. <https://doi.org/10.18686/fnc285>
- Kishore, A., Kumar, P. (2023).** Therapeutic properties of milk from goats (*Capra hircus*). *Journal of Rural Advancement*, 11(2), 124-134.
- Kumar, H., Yadav, D., Kumar, N., Seth, R., & Kumar Goyal, A. (2016).** Nutritional and nutraceutical properties of goat milk. *Indiane Journal Dairy Science*, 69(5).
- Lad, S. S., Aparnathi, K. D., Mehta, B., & Velpula, S. (2017).** Goat Milk in Human Nutrition and Health – A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 1781-1792. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.194>
- Lafitedupont, A. (2011).** Les différents laits et leur complexité. Les protéines du lait de vache : aspect nutritionnel et allergie alimentaire. Thèse doctorat, Université De Limoges. PP :86.
- Lakhabab, F.-Z. (2017).** Progression des maladies allergiques : impact du mode de vie et de l'environnement, prise en charge et rôle du pharmacien. Thèse de doctorat, l'Université de Bordeaux, France. P : 22-62.
- Lei, D. K., & Grammer, L. C. (2019).** An overview of allergens. *Allergy and Asthma Proceedings*, 40(6), 362-365. <https://doi.org/10.2500/aap.2019.40.4247>
- Lima, M. J. R., Teixeira-Lemos, E., Oliveira, J., Teixeira-Lemos, L. P., Monteiro, A. M. C., & Costa, J. M. (2018).** Nutritional and health profile of goat products: Focus on Health Benefits of Goat Milk. In S. Kukovics (Éd.), *Goat Science*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70321>
- Liu, C., & Sathe, S. K. (2018).** Food Allergen Epitope Mapping. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(28), 7238-7248. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01967>
- Maqsood, R., Iqbal, H., Gul, S., Ali, I., & Malik, J. (2023).** Expression and clinical significance of IL-6 in patients with allergic rhinitis. *International Journal of Otorhinolaryngology and Head and Neck Surgery*, 9(2), 165-168. <https://doi.org/10.18203/issn.2454-5929.ijohns20230103>
- Marichal, T., Mesnil, C., & Bureau, F. (2017).** Homeostatic Eosinophils: Characteristics and Functions. *Frontiers in Medicine*, 4. <https://doi.org/10.3389/fmed.2017.00101>
- Masson, A. (2012).** Activation des polynucléaires dans l'allergie alimentaire IgE dépendante de l'enfant. *Revue Française d'Allergologie*, 52(3), 275. <https://doi.org/10.1016/j.reval.2012.02.067>
- Mazroea, A. A., Alharby, M. A., Almughathwai, A. A., Majed, S., Saeed, R. M.-H., Alharbi, A. F., & Saeed, H. M. (2018).** Comparison between Nutritional Values in Cow's Milk, and Goat Milk Infant Formulas. *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences*, 7(4), 190-194.
- Michel, O., & Doyen, V. (2015).** La mise au point des allergies alimentaires. *Clinique d'Immuno-allergologie, C.H.U. Brugmann. A. Van Gehuchten 4 1020 Bruxelles*. 377-380.
- Mohammed, A. (2018).** Review on Nutritional and Medicinal Value of Goat Milk. *Jimma Université*. PP: 14.
- Monteiro, A., Costa, J. M., & Lima, M. J. (2018).** Goat System Productions:

Advantages and Disadvantages to the Animal, Environment and Farmer. In S. Kukovics (Éd.), Goat Science. InTech. 352-366. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70002>

Montoyo, A. (2017). L'immunothérapie allergénique Vers de nouvelles approches thérapeutiques. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, France. PP: 13-29.

Nancey, S., Boschetti, G., & Flourié, B. (2013). Allergie et intolérance alimentaire chez l'adulte. 165-176.

Nayik, G. A., Jagdale, Y. D., Gaikwad, S. A., Devkate, A. N., Dar, A. H., Dezmirean, D. S., Bobis, O., Ranjha, M. M. A. N., Ansari, M. J., Hemeg, H. A., & Alotaibi, S. S. (2021). Recent Insights Into Processing Approaches and Potential Health Benefits of Goat Milk and Its Products: A Review. *Frontiers in Nutrition*, 8, 789117. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.789117>

Nelson Navamniraj, K., Sivasabari, K., Indu J, A., Krishnan, D., Anjali, M. R., Akhil, P. R., Pran, M., Nainu, F., Praveen, S. V., Singh, P., Chopra, H., Chakraborty, S., Dey, A., Dhama, K., & Chandran, D. (2023). Beneficial impacts of goat milk on the nutritional status and general well-being of human beings: Anecdotal evidence. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 11(1), 1-15. [https://doi.org/10.18006/2023.11\(1\).1.15](https://doi.org/10.18006/2023.11(1).1.15)

Nombel, A. (2023). *Les IgE*, principaux médiateurs des réponses immédiates. Université Claude Bernard, Lyon. PP: 19-22.

Nur Husna, S. M., Md Shukri, N., Tuan Sharif, S. E., Tan, H. T. T., Mohd Ashari, N. S., & Wong, K. K. (2022). IL-4/IL-13 Axis in Allergic Rhinitis: Elevated Serum Cytokines Levels and Inverse Association With Tight Junction Molecules Expression. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 9, 819772. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2022.819772>

Nyekel, F. N. (2018). Régulations des réponses cellulaires immunitaires par les mastocytes au cours des rejets d'allogreffe de peau d'oreille chez la souris. Thèse doctorat, Université Sorbonne, Paris. P : 52.

Ouhab, S. (2019). Rhinite Allergique. *Algerian Journal of Allergology* Vol. 01 Num. 04 (12-2019) 2543-3555.

Park, Y. W., & Haenlein, G. F. W. (2017). Therapeutic, Hypo-Allergenic and Bioactive Potentials of Goat Milk, and Manifestations of Food Allergy. In *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammal*, 151-179

Pisella, P.-J. (2007). Les acteurs cellulaires de l'allergie. *Journal Français d'Ophthalmologie*, 30(3), 283-287. [https://doi.org/10.1016/S0181-5512\(07\)89593-3](https://doi.org/10.1016/S0181-5512(07)89593-3)

Prosser, C. G. (2021). Compositional and functional characteristics of goat milk and relevance as a base for infant formula. *Journal of Food Science*, 86(2), 257-265. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15574>

Rai, D. C., Rathaur, A., Yadav, A. K., & Shraddha, Ms. (2022). Nutritional and nutraceutical properties of goat milk for human health: A review. *Indian Journal of Dairy Science*, 1-10. <https://doi.org/10.33785/IJDS.2022.v75i01.001>

Rémi, C. (2015). Les dermatoses immuno-allergiques fréquemment rencontrées en officine, exemple de l'urticaire, de la dermatite atopique et de l'eczéma de contact : origines, physiopathologies, traitements, éducation thérapeutique et conseils à l'officine. Université de Limoges. PP : 44-48.

- Rommel, S. (2012).** Hypersensibilités alimentaires allergiques chez l'enfant diagnostic, traitement et conseils du pharmacien. Thèse de doctorat, Université de Limoges, France. PP : 13-73.
- Roulou, H. (2013).** Les allergies : données générales et protocoles diagnostiques. Thèse doctorat en médecine, Université Mohammed-Souissi. Rabat. 134p.
- Rouzaire, D. P. (2022).** Les IgE, principaux médiateurs des réponses immédiates. Service d'Histocompatibilité et d'Immunogénétique CHU de Clermont- Ferrand. PP : 13-15.
- Saikia, D., Hassan, M. I., & Walia, A. (2022).** Review: Goat milk and its nutraceutical properties. *International Journal of Applied Research*, 8(4), 119-122. <https://doi.org/10.22271/allresearch.2022.v8.i4b.9639>
- Saleh, R. (2013).** Mise en évidence de nouvelles lignées mastocytaires humaines exprimant un récepteur aux IgE fonctionnel et différents types de récepteurs KIT, utilisées comme modèles d'étude de l'allergie et des mastocytoses. *Biochimie, Biologie Moléculaire*. Université Paris Sud - Paris XI. NNT : 2013PA11T009
- Salvi, C. (2018).** Les allergies chez l'enfant : physiopathologie, progression du phénomène et prise en charge. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille, France. PP : 17-35.
- Shu, L., & Wang, Z. (2024).** Mechanism of Th17 and Treg in Allergic Rhinitis. *BIO Web of Conferences*, 111. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411102023>
- Smaldini, P. L., Orsini Delgado, M. L., Fossati, C. A., & Docena, G. H. (2015).** Orally-Induced Intestinal CD4+ CD25+ FoxP3+ Treg Controlled Undesired Responses towards Oral Antigens and Effectively Dampened Food Allergic Reactions. *PLOS ONE*, 10(10), e0141116. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141116>
- Small, P., Keith, P. K., & Kim, H. (2018).** Allergic rhinitis. *Allergy, Asthma & Clinical Immunology*, 14(S2), 51. <https://doi.org/10.1186/s13223-018-0280-7>
- Sonu, K., & Basavaprabhu, H. (2020).** Compositional and therapeutic signatures of goat milk: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 8(2), 1013-1019.
- Stone, K. D., Prussin, C., & Metcalfe, D. D. (2010).** IgE, mast cells, basophils, and eosinophils. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 125(2), S73-S80. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.11.017>
- Sunarti, Nurliyani, Tyas, A. S. A., Kristian, S. D., & Prasetyastuti. (2015).** The Influence of Goat Milk and Soybean Milk Kefir On IL-6 and Crp Levels in Diabetic Rats. *Romanian Journal of Diabetes Nutrition and Metabolic Diseases*, 22(3), 261-267. <https://doi.org/10.1515/rjdnmd-2015-0032>
- Tafes, A. G. (2020).** Compositional and Technological Properties of Goat Milk and Milk Products A Review. *Ethiopian Meat and Dairy Industry Development Institute*, Ethiopia, 3(3), 295-300. <https://doi.org/10.32474/CDVS.2020.03.000161>
- Taiwo Idowu, S., & Olufunke Adewumi, O. (2017).** Genetic and Non-Genetic Factors Affecting Yield and Milk Composition in Goats. *Advances in Dairy Research*, 05(02). <https://doi.org/10.4172/2329-888X.1000175>
- Tillib, S. V., Privezentseva, M. E., Ivanova, T. I., Vasilev, L. F., Efimov, G. A., Gursky, Y. G., Georgiev, G. P., Goldman, I. L., & Sadchikova, E. R. (2014).** Single-domain antibody-based ligands for immunoaffinity separation of recombinant human

lactoferrin from the goat lactoferrin of transgenic goat milk. *Journal of Chromatography B*, 949-950, 48-57. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2013.12.034>

Tiwari, G., Chauhan, A., Sharma, P., & Tiwari, R. (2022). Nutritional Values and Therapeutic Uses of *Capra hircus* Milk. *International Journal of Pharmaceutical Investigation*, 12(4), 408-417. <https://doi.org/10.5530/ijpi.2022.4.71>

Toumi, A. (2022). Suspicion d'hypersensibilité aux produits de contraste iodés : Typologie, exploration allergologique, évaluation en pratique courante. Thèse doctorat, Université de Caen Normandie. PP : 5.

Verma, K. K., Solanky, M. R., Solanky, J. B., Narwaria, U. S., Nayak, D. N., Moliya, D. C., & Patel, D. C. (2020). Goat milk: A potent nutraceutical food. 36(1-2), 7-19.

Wadhvani, K. N., Bhavsar, M., Islam, M. M., Patel, J. H., & Lunagariya, P. M. (2023). Modern health concept of non-bovine milk: A review. *Indian Journal of Animal Production and Management*, 37(1), 12- 22. <https://doi.org/10.48165/ijapm.2023.37.1.8>

wiley, John., & Sons, A. (2012). Davos Declaration: Allergy as a global problem. *Allergy*, 67(2), 141- 143. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2011.02770.x>

Yadav, A. K., Singh, J., & Yadav, S. K. (2016). Composition, nutritional and therapeutic values of goat milk: A review. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 35(2). <https://doi.org/10.18805/ajdfr.v35i2.10719>

Yang, Y., Xiao, J., Tang, L., Wang, B., Sun, X., Xu, Z., Liu, L., & Shi, S. (2022). Effects of IL-6 Polymorphisms on Individual Susceptibility to Allergic Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Genetics*, 13, 822091. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.822091>

Yangilar, F. (2013). As a Potentially Functional Food: Goats' Milk and Products. *Journal of Food and Nutrition Research*, 1(4), 68-81.

Zappa, M. (2016). Le traitement de l'allergie par immunothérapie spécifique. Thèse de doctorat, Université de Limoges, France. PP : 12-42.

Zenebe, T., Ahmed, N., Kabeta, T., & Kebede, G. (2014). Review on Medicinal and Nutritional Values of Goat Milk. *Academic Journal of Nutrition* 3 (3): 30-39

