

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة جيجل  
Université de Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la  
Vie  
Département : Microbiologie appliquée et  
Sciences Alimentaires



كلية علوم الطبيعة و الحياة  
قسم الميكروبيولوجيا التطبيقية و  
علوم التغذية

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en Biologie

Option : Contrôle de Qualité des Produits Alimentaires

جامعة محمد الصديق بن يحيى  
كلية علوم الطبيعة و الحياة  
المكتب  
رقم الجرد : 2358.....

Thème

**Impact de la chaleur et de quelques additifs alimentaires sur le  
pouvoir gélifiant du blanc d'œuf**

Membres de Jury :

Présidente: D<sup>O</sup>. HADDAR. H

Encadreur: M<sup>me</sup> AKKOUCHE. Z

Examineur: M<sup>r</sup>. BOUBZARI. M.T

Présenté par :

M<sup>lle</sup> SOUKKOU Fatima

M<sup>lle</sup> ZAIMI Dounia

Année Universitaire 2015-2016

## *REMERCIEMENT*

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH (الله) Le tout Puissant et Miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier M<sup>me</sup> Akkouche de nous avoir encadré et d'avoir guidé nos efforts, tout le long de ce travail, par ses conseils et ses corrections sans aucune parcimonie. Nous la remercions plus particulièrement pour sa patience et sa disponibilité exceptionnelle.

A M<sup>me</sup>O. Haddar pour avoir accepté de présider ce jury.

A M<sup>r</sup>.Boubzari, de l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'examiner ce travail.

A M<sup>r</sup>.Bouhadja et M<sup>r</sup>. Khenouf qui nous ont aidé à accomplir cette tâche.

Toutes nos gratitude vont aussi à nos parents, nos frères et sœurs pour leur soutien tout au long de nos études et durant la réalisation de ce mémoire.

A toute personne, qui nous a aidé de proche et de loin, d'un mot, d'une idée ou d'un encouragement,

« Merci ».

# Sommaire

---

# Sommaire

---

Liste des abréviations	
Liste des annexes	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction.....	1

## Partie 1 : Synthèse bibliographique

### Chapitre I : Structure et composition du blanc d'œuf

I.Généralités.....	3
I.1. Définition de l'œuf.....	3
I.2. Structure et composition de l'œuf.....	3
I.3.Le blanc d'œuf ou l'albumen.....	4
I.3.1.Organisation.....	4
I.3.2.Composition du blanc d'œuf.....	4
I.3.2.1.La fraction protéique.....	4
I.3.2.2.La fraction non protéique .....	9
I.4.Propriétés du blanc d'œuf.....	11

### Chapitre II:Thermo-gélfication du blanc d'œuf

II.1.Définition d'un gel protéique.....	13
II.1.1.Caractéristiques d'un gel.....	13
II.1.2. Mécanisme de gélfication.....	14
II.3.Influence de la chaleur et de quelques additifs alimentaires sur la gélfication.....	16
II.3.1. La chaleur.....	16
II.3.2.Additifs alimentaires.....	17
II.3.2.1-Définition d'un additif alimentaire.....	17
II.3.2.2.Les sucres.....	17
II-3-2-3- Les sels.....	18

II.3.3. D'autres facteurs.....	19
--------------------------------	----

## **Partie 2 : Etude expérimentale**

### **Chapitre I: Matériel et méthodes**

I.1. Matériel biologique.....	22
I.2. Produits chimiques et réactifs.....	22
I.3. Appareillages et verreries.....	22
I.4. Méthodes.....	23
I.4.1. Préparation des échantillons.....	23
I.4.2. Analyses physico-chimiques .....	23
I.4.2.1. Mesure de pH .....	23
I.4.2.2. Teneur en matière sèche.....	23
I.4.2.3. Teneur en matière organique et minérale .....	24
I.4.2.4. Dosage des protéines par méthode Kjeldahl.....	24
I.4.3. Thermogélification du blanc d'œuf.....	24
I.4.3.1. Préparation des gels du blanc d'œuf.....	24
I.4.4. Etude des paramètres des gels.....	25
I.4.4.1. Le pouvoir rétenteur d'eau .....	25
I.4.4.2. Structure interne du gel.....	25
I.4.4.3. La spectroscopie infrarouge.....	25
II-Analyse statistique.....	27

### **Chapitre II: Résultats et Discussion**

II.1. Description visuelle de l'albumen.....	28
II.2. Analyses physico-chimiques.....	28
II.2.1. Mesure du pH.....	28
II.2.2. Teneur en matière sèche.....	28
II.2.3. Teneur en matière minérale (les cendres) .....	28
II.2.4. Dosage des protéines par la méthode de Kjeldahl.....	28
II.3. Impacte des additifs alimentaires (NaCl, glucose, saccharose) sur le PRE des gels.....	29
II.3.1. Impacte de NaCl.....	29



II.3.2. Impacte du glucose.....	31
II.3.3. Impacte du saccharose.....	32
II.3.4. Impacte des polyphénols sur le (PRE) des gels.....	33
II.3.5. Comparaison de l'effet de NaCl, glucose, saccharose, acide gallique, acide tannique et quercétine sur le PRE des gels du blanc d'œuf .....	36
III. Microstructure des gels du blanc d'œuf.....	37
IV. Spectres infrarouge des gels de blanc d'œuf.....	41
Conclusion.....	47
Références bibliographiques	
Annexes	

---

## *Liste des abréviations*

---

**ANOVA** : Analyse de variance;

**Cd** : Teneur en cendre ;

**IR** : Infrarouge ;

**k<sub>d</sub>**: Cinétique de dénaturation;

**k<sub>a</sub>**: Cinétique d'agrégation;

**MO** : Matière organique ;

**MS** : Matière sèche ;

**N** : Normalité ;

**Nd** : Non déterminé ;

**PRE** : Pouvoir rétenteur d'eau ;

**pI**: point isoélectrique;

**WHC** : water holding capacity ;

**T%** : Transmittance.

---

## *Liste des annexes*

---

**Annexe 1:** Méthode de Kjeldahl

**Annexe 2:** Résultats des PRE des gels de blanc d'œuf

**Annexe 3:** Table de fréquence des vibrations de valence caractéristiques en IR.

**Annexe 4:** Structure chimiques de quelques polyphénols



---

## *Liste des figures*

---

<b>Figure 01</b> : Coupe schématique d'un œuf.....	2
<b>Figure 02</b> : Structure tridimensionnelle de l'ovalbumine.....	6
<b>Figure03</b> :Structure cristallographique de l'ovotransferrine.....	7
<b>Figure 04</b> :Structure de lysozyme.....	8
<b>Figure 05</b> : Représentation schématique de la gélification thermique des protéines globulaires....	14
<b>Figure 06</b> : Schéma explicatif de la cinétique de dénaturation et d'agrégation des protéines.....	15
<b>Figure07</b> : Schéma d'agrégation du blanc d'œuf sans et avec NaCl.....	18
<b>Figure 08</b> :Photosdepréparation de gel du blanc d'œuf pour l'infrarouge.....	26
<b>Figure 09</b> : Effet de NaCl sur le PRE des gels du blanc d'œuf.....	29
<b>Figure 10</b> :Effet du glucose sur le PRE des gels du blanc d'œuf .....	31
<b>Figure 11</b> : Effet du saccharose sur le PRE des gels du blanc d'ouf.....	32
<b>Figure 12</b> :Effetdes polyphénolssur le PRE des gels du blanc d'œuf.....	34
<b>Figure 13</b> :Effet de NaCl, glucose, saccharose, acide tannique,acide gallique et quercétinesur le PRE des gels de blanc d'œuf.....	36
<b>Figure 14</b> : Spectresinfrarouge des gels du blanc d'œuf obtenus à 92°C/30 min, avec de NaCl ....	42
<b>Figure 15</b> : Spectresinfrarouge des gels du blanc d'œuf obtenus à 92°C/30 min, avec glucose.....	42
<b>Figure 16</b> : Spectresinfrarouge des gels du blanc d'œuf obtenus à 92°C/30 min, avec du saccharose.....	43
<b>Figure 17</b> : Spectresinfrarouge des gels du blanc d'œuf obtenus à 92°C30 min, avec de l'acide tannique.....	43
<b>Figure 18</b> : Spectresinfrarouge des gels du blanc d'œuf obtenus à 92°C/30 min, avec de l'acide gallique.....	44
<b>Figure 19</b> : Spectres infrarouge des gels du blanc d'œuf obtenus à 92°C/30 min, avec laquercétine.....	45

---

## *Liste des tableaux*

---

<b>Tableau I:</b> Principales protéines du blanc d'œuf et leurs caractéristiques.....	4
<b>Tableau II:</b> Composition minérale moyenne du blanc d'œuf comparée à celle du jaune et de l'entier.....	9
<b>Tableau III:</b> Composition en vitamines du blanc d'œuf comparée à celle du jaune et de l'entier (en µg pour 100 g) .....	10
<b>Tableau IV :</b> Photos des gels du blanc d'œuf additionnés ou non d'additifs alimentaires a différents concentration et température par microscope a caméra.....	38

# **Introduction**

Les œufs et les ovoproduits sont utilisés dans les entreprises agroalimentaires ou en restauration collective pour leur valeur nutritionnelle, mais également pour leurs propriétés fonctionnelles qui les rendent indispensables dans de nombreuses fabrications (Nathier-Dufour, 2005).

C'est une source de protéines et de lipides animaux la moins onéreuse, consommée dans le monde entier et valorisée dans de nombreuses préparations alimentaires pour ses propriétés technofonctionnelles très variées (Nau *et al.*, 2010 ; De Souza *et al.*, 2013).

La commercialisation des produits dérivés des œufs ont acquis une grande importance dans le marché international, actuellement les industries alimentaires utilisent l'œuf de poule en particulièrement le blanc d'œuf de manière intensifiée, malgré la forte concurrence de plus en plus avec les produits laitiers. Le blanc d'œuf est une source naturelle de protéines à intérêt potentiel nutritionnel, biologique et technologique, ce dernier est largement utilisé comme ingrédient souhaitable dans de nombreux aliments, comme les produits de boulangerie, biscuiterie-briocherie-pâtisserie et les sous-produits de la viande (Lechevalier, 2005; Machado *et al.*, 2007)

La capacité du blanc d'œuf à former des gels induite par la chaleur est la base de son utilisation dans différentes formules alimentaires. Cependant, cette propriété technologique est affectée par de nombreux facteurs intrinsèques incluant la structure et la conformation des protéines, et extrinsèques (la température, le pH, la force ionique, les interactions protéine-protéine et protéine-eau) (Alamprese *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2013).

La gélification est une agrégation ordonnée des protéines dénaturées, formant un réseau tridimensionnel, la formation du réseau protéique est considérée comme résultante d'un équilibre entre les interactions protéine-protéine, protéine-solvant, ainsi que les forces attractives et répulsives entre les chaînes peptidiques adjacentes (Boutin, 2000).

Dans les systèmes alimentaires, en plus d'offrir des propriétés rhéologiques uniques aux aliments, le réseau tridimensionnel fournit une matrice pour retenir l'eau, des composés aromatiques et d'autres ingrédients alimentaires (Lechevalier, 2005).

Le but de ce travail est d'étudier l'impact de la chaleur et de l'ajout de quelques additifs alimentaires (NaCl, glucose, saccharose) à différentes concentrations (3, 6 et 12%), et de polyhénols purs (quercétine, acide tannique et acide gallique) aux concentrations (0,1 et 0,5%) sur le pouvoir gélifiant du blanc d'œuf, en mesurant le pouvoir rétenteur d'eau des gels obtenus, leurs structures internes par un microscope à caméra, et une analyse des spectres infrarouge.

## **Introduction générale**

---

Au cours de ce travail, nous nous sommes intéressés dans un premier temps à une étude bibliographique, relative à la structure et la composition du blanc d'œuf, à la gélification thermique, ainsi qu'à l'effet de quelques additifs sur le pouvoir gélifiant.

La deuxième partie, est réservée à la description de l'ensemble des approches et techniques employées, à la présentation et discussion des résultats obtenus.

**Synthèse**  
**bibliographique**



## Chapitre I : Structure et composition du blanc d'œuf

### I. Généralités

#### I.1. Définition de l'œuf

Aux termes de la réglementation en vigueur, la dénomination « œuf », sans indication de l'espèce animale de provenance, est réservée aux œufs de poule. Tout œuf provenant d'un oiseau autre que la poule doit être désigné par la dénomination « œuf », suivie du nom de l'oiseau dont il provient (Dupin *et al.*, 1992).

Le terme « œuf » concerne par ailleurs les œufs propres à la consommation humaine, donc commercialisables et garantissant la totale innocuité quel que soit le mode de cuisson (Kamana, 2010).

#### I.2. Structure et composition de l'œuf

L'œuf a été longtemps connu par sa valeur nutritive exceptionnelle, il se compose :

- D'une coquille poreuse (10%) de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) et de magnésium recouverte d'une cuticule organique protégeant cette dernière;
- Jaune ou vitellus (30%, avec 50% d'eau, 16% de protéines et 34% de lipides);
- L'albumen (60%) généralement connu sous le nom du blanc d'œuf;
- Des membranes coquillières internes et externes;

L'œuf entier (sans coquille) contient en moyenne 75% d'eau, 12,5% de protéines et de 10 à 11% de lipides (figure 1) (Kamana, 2010 ; Nys *et al.*, 2010).

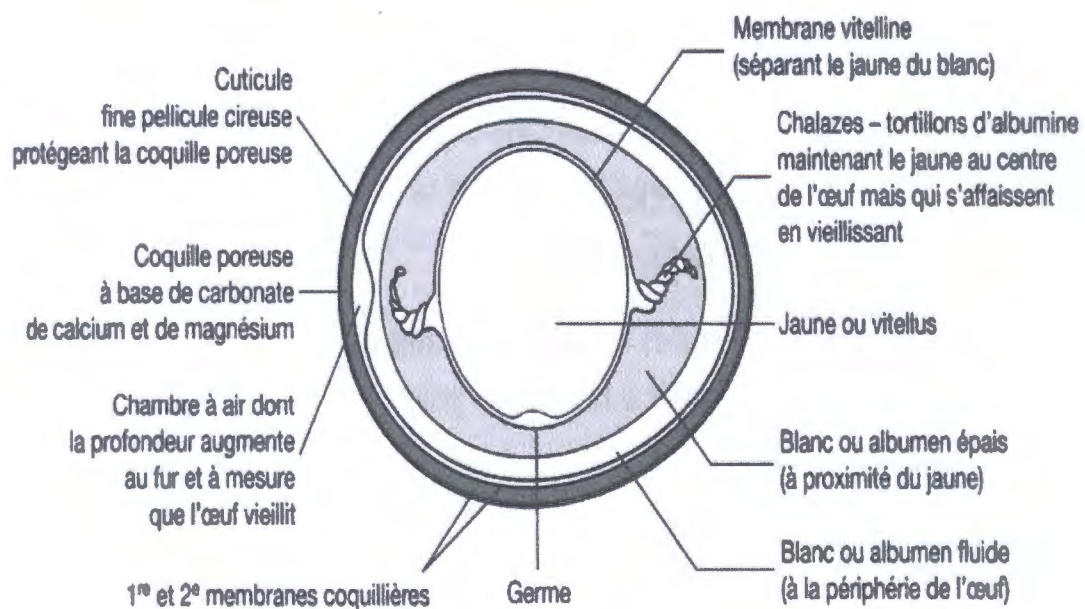


Figure 1 : Coupe schématique d'un œuf (Nafti, 2006).



### **L3. Le blanc d'œuf ou l'albumen**

#### **L3.1. Organisation**

Le blanc d'œuf est un milieu hétérogène, résultant de la juxtaposition de quatre zones distinctes physiquement, cette classification dépend principalement de leur contenu en ovomucine et le niveau du glycosylation de ses protéines (Abeyrathne *et al.*, 2013).

- **Le blanc liquide externe** (23% du blanc total): il est en contact des membranes coquillières, c'est la zone qui s'étale rapidement lorsque l'œuf est cassé sur une surface plane;
- **Le blanc épais** (57% du blanc total): il se présente sous forme de gel attaché aux deux extrémités de l'œuf ;
- **Le blanc liquide interne** (17% du blanc total): il est en contact au jaune, entouré du blanc épais; la différence de texture entre le blanc liquide et le blanc épais est liée à la répartition inégale d'une protéine majeure du blanc, l'ovomucine, cette dernière étant quatre fois plus abondante dans le blanc épais, lui donnant sa texture gélatineuse ;
- **Les chalazes** (3% du blanc total): ce sont des sortes de filaments spiralés allant du jaune vers les deux extrémités de l'œuf à travers le blanc épais, et qui assurent la suspension du jaune dans la position centrale de l'œuf, leur rupture entraîne une adhérence du jaune aux membranes coquillières (Ngouyamsa, 2007; Marie, 2015).

La proportion de ces quatre parties varie en fonction du poids de l'œuf, de l'espace, des conditions d'environnement, de la taille de l'œuf et du taux de production; quand le poids de l'œuf augmente avec l'âge de la poule, la part du blanc épais s'accroît également au détriment du blanc liquide interne, tandis que celle du blanc liquide externe n'est pas affectée, mais par contre elle l'est fortement après la ponte (Ngouyamsa, 2007 ; Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

#### **L3.2. Composition du blanc d'œuf**

Le blanc d'œuf est constitué principalement d'eau (88%) et de protéine (11%), le reste étant constitué par des hydrates de carbone, de cendres (0,5-0,6%), et des quantités traces de lipides (1%). L'extrait sec total du blanc varie selon de nombreux facteurs (souche, âge des poules, conservation des œufs) et se situe entre 11 et 13%. La matière sèche du blanc d'œuf est essentiellement protéique et représente de 9,7 à 10,6% du poids de l'albumen (Mine, 2008 ; Abeyrathne *et al.*, 2013).

##### **L3.2.1. La fraction protéique**

Le blanc d'œuf peut être considéré comme une solution aqueuse de protéines globulaires dans laquelle baignent des fibres d'une glycoprotéine, particulièrement abondante dans le blanc épais: l'ovomucine. Les protéines du blanc d'œuf ont été largement étudiées, en raison de leur nombreuses

propriétés nutritionnelles, biologiques et techno-fonctionnelles (Mann, 2007 ; Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

Des études protéomiques ont permis d'identifier environ 240 protéines dans le blanc d'œuf parmi lesquelles: l'ovalbumine (54%), ovotransferrine (12%), l'ovomucoïde (11%), le lysozyme (3,5%), ovomucine (3,5%), ovo-inhibiteur (1,5%), ovo-glycoprotéine (1%), ovoflavoprotéine (0,8%), l'ovomacroglobuline (0,5%), cystatine (0,05%) et l'avidine (0,005%). Ces protéines sont reconnues pour leur importance fonctionnelle (Tableau I) (Abeyrathne *et al.*, 2013 ; Marie, 2015).

**Tableaux I:** Principales protéines du blanc d'œuf et leurs caractéristiques (Alleoni, 2006 ; Guérin-Dubiard *et al.*, 2010 ; Bedrani, 2013).

Protéine	Famille	%	Poids moléculaire (KDa)	pI	Température de dénaturation (°C)	Caractéristiques biologiques
Ovalbumine	Serpines	54	44,5	4,5	84,0	Phosphoglycoprotéines immunogénique
Ovotransferrine	transferines	13	77,7	6,1	61,0	Antimicrobien, fixer le fer
Ovomucoïde	Antiprotéases	11	28,0	4,1	77,0	inhibiteur de protéase à trypsine
Ovomucine	Mucines	1,5-3,5	$5,5-8,8 \times 10^3$	4,5-5,0	79	Viscosité, hémagglutination virale
Lysozyme	Glycosyl-hydrolases	3,4-3,5	14,3	10,7	75,0	Lyse les parois des bactéries Gram+, antimicrobien
avidine	Avidine streptavidine	0,005	68,3	10	85	Fixe la biotine ; antimicrobien
flavoprotéine	Folates receptors	0,8	32	4	-	Fixe la riboflavine
Ovo-inhibiteur	Antiprotéase	1,5	49	5,1	-	Inhibiteur de protéase à serine
Ovostatine		0,5	760 à 900	4,6	-	Inhibiteur des protéases sériques
cystatine		0,05	12,7	5,1	-	Inhibiteur des protéases à SH
Cal gamma	Lipocalines	Nd	20,8	6	-	inconnu



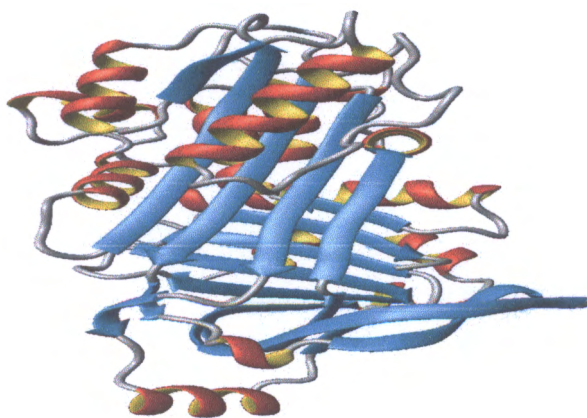
De très nombreuses protéines et peptides du blanc d'œuf appartiennent à des familles de protéines ayant des activités antimicrobiennes, en plus de constituer une source de nutriments pour l'embryon, elles jouent un rôle capital dans l'immunité innée de l'œuf, et lui confèrent aussi ses propriétés physico-chimiques et fonctionnelles telles que : viscosité, pH, propriété moussantes, thermogélifiantes, et propriétés liantes,... etc (Nys et Sauveur, 2004; Bedrani, 2013).

### Ovalbumine

L'ovalbumine représente 54% des protéines totales du blanc d'œuf, elle contient 3,5% d'hydrates de carbone, elle a quatre groupes sulfhydriles libres et un groupe bisulfure, avec un poids moléculaire de 44,5 KDa, c'est une phosphoglycoprotéine monomérique comportant 385 acides aminés, la moitié de ces résidus est hydrophobe et un tiers sont des résidus chargés, en majorités acides, lui conférant un pHi de 4,5. Sa structure est globulaire, elle est également une protéine soufrée: possède six résidus Cys enfouis au cœur de la protéine dont deux sont impliqués dans un pont disulfure (Cys<sup>73</sup> et Cys<sup>120</sup>). C'est la seule protéine du blanc d'œuf, qui possède des groupements SH libres pouvant donner lieu à des réarrangements selon les conditions de conservation, pH et de dénaturation de surface, une part importante de la chaîne polypeptidique est engagée dans les structures secondaires, avec 32% des acides aminés impliqués dans des feuillets  $\beta$ , 30% dans des hélices  $\alpha$  comme le montre sa structure tridimensionnelle (Figure 2) (Guérin-Dubiard *et al.*, 2010; Lechevalier, 2010).

Pendant le stockage ou le traitement thermique modéré, l'ovalbumine est transformée en S-ovalbumine, une forme thermostable supplémentaire (température de dénaturation de 92,5°C) par rapport à l'ovalbumine (la température de dénaturation de 84°C) (Croguennec *et al.*, 2007).

S-ovalbumine à un poids moléculaire plus léger que l'ovalbumine et sa quantité en œufs frais peut augmenter relativement pendant la période de stockage de 5% à 81% après six mois d'entreposage à froid, elle possède une structure pratiquement identique à celle de l'ovalbumine, à l'exception des Ser<sup>164</sup>, Ser<sup>236</sup> et Ser<sup>320</sup> qui se trouvent dans la configuration D (Alloeni, 2006 ; Lechevalier, 2010).



**Figure 2 :** Structure tridimensionnelle de l'ovalbumine (Gauthier, 2000).

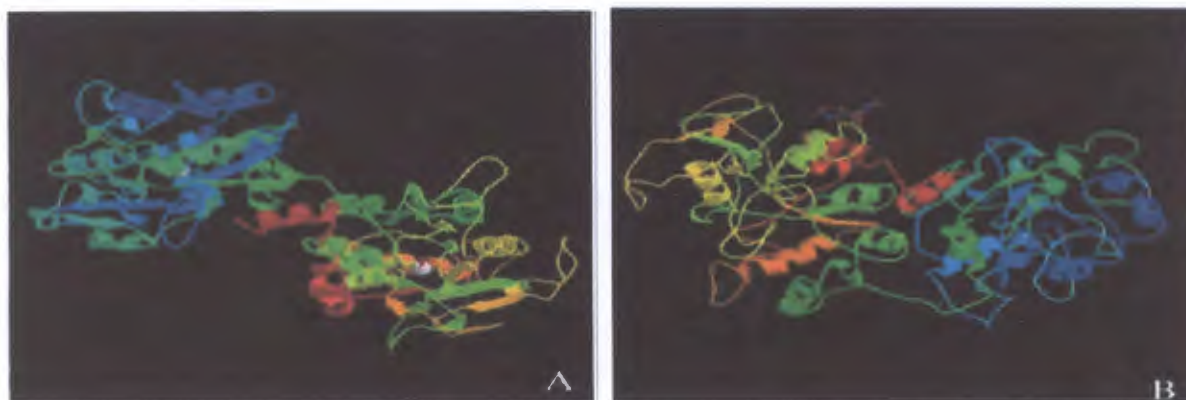
### **🚩 Ovotransferrine (Conalbumine)**

C'est la glycoprotéine qui représente 13% du blanc d'œuf ; son poids moléculaire varie de 60 à 95 KDa, avec un point isoélectrique entre 6,0 et 6,6 (Alloeni, 2010).

Elle contient 686 résidus d'acides aminés et 15 ponts disulfures, comporte une chaîne glycane simple (composée de mannose et de résidus de N-acetylglucosamine) dans le domaine C terminale, synthétisée dans l'oviducte de poule et déposée dans la fraction d'albumen des œufs ,appartient à la famille des transferrines avec la possibilité de fixer deux atomes de fer par molécule (Lechevalier, 2005).

L'ovotransferrine se trouve sous deux formes principales : apo-forme (fer libre) et holo-forme (fer lié), les propriétés physico-chimiques de ces deux formes se diffèrent de manière significative, l'holo-forme est plus résistant aux traitements physico-chimiques que l'apo-forme (Figure3) (Abeyrathne *et al.*, 2013).

Actuellement, l'utilisation de l'ovotransferrine se limite au secteur médico-nutritionnel, les rares applications interviennent dans le traitement d'infections intestinales bactériennes chez les nouveau-nés (Lechevalier, 2005).



**Figure 3:** Structure cristallographique de l'ovotransferrine, (A) apo-forme et (B) holo-forme (Berlutti, 2007).

### 📌 Lysozyme

C'est une glycoprotéine (figure 4) constituée d'une chaîne simple polypeptidique avec 129 résidus d'acides aminés liés par quatre liaisons disulfite, son poids moléculaire est de 14.300 à 14.600 Da, et son point isoélectrique est 10,7, les groupes terminaux acides et basiques de la chaîne latérale sont distribués dans la surface moléculaire, c'est une protéine globulaire qui représente 3,5% des protéines du blanc d'œuf (Hoppe, 2010).

La composition en acides aminés du lysozyme montre qu'environ 40 % des résidus sont hydrophobes et un tiers sont chargés, parmi lesquels une proportion importante de résidus basiques. Ceci confère à la protéine respectivement sa structure globulaire et un pHi particulièrement élevé de 10,7. C'est la seule protéine connue du blanc d'œuf, avec l'avidine, à posséder un pHi basique (Lechevalier, 2005).

Il s'agit d'une enzyme, responsable de la lyse des parois des bactéries Gram<sup>+</sup> par hydrolyse des liaisons  $\beta$  (1-4) entre l'acide N-acétylmuraminique et le N-acétylglucosamine des mucopolysaccharides de la paroi bactérienne. Ces propriétés bactéricides assurent à l'embryon une protection contre les invasions bactériennes et sont exploitées industriellement. Ainsi le lysozyme a été largement utilisé dans la fabrication de fromages à pâte pressée cuite pour prévenir les défauts liés à une contamination par *Clostridium tyrobutyricum*. Il est également utilisé en tant que conservateur naturel, notamment au Japon, pour prolonger l'état de fraîcheur des légumes et des aliments à base de produits de la mer ou de produits carnés (Nau *et al.* , 2003 ; Lechevalier, 2005 ; Bedrani ,2013).



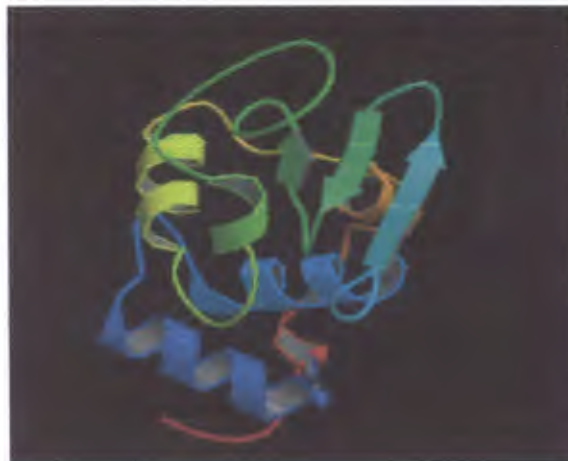


Figure 4 : Structure de lysozyme (Gummel, 2006).

### **Ovomucine**

L'ovomucine est une glycoprotéine, visqueuse qui contribue à la structure colloïdale de la couche épaisse du blanc d'œuf, représente entre 1,5 et 3,5% des protéines totales de l'albumen. Elle se diffère des autres protéines par son poids moléculaire élevé (varie de 5,5 à 8,8 x10<sup>3</sup> kDa) et pI de 4 à 5,5. Il existe deux formes d'ovomucine: une ovomucine soluble, localisée à la fois dans le blanc épais et dans le blanc liquide, et l'autre insoluble, localisée dans le blanc épais exclusivement, chacune de ces ovomucines est constituée de sous-unités :  $\alpha$  - ovomucine, forme pauvre en hydrate de carbone, et  $\beta$  – ovomucine qu'est riche en hydrate de carbone (Alleoni, 2006 ; Hoppe, 2010; Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

Le rôle biologique de l'ovomucine est la protection ; elle empêche le mouvement des micro-organismes par le biais de l'albumen et protège également l'embryon au cours de leur développement, elle a aussi une activité antimicrobienne contre les virus et les bactéries (Hiidenhovi, 2015).

### **I.3.2.2.La fraction non protéique**

#### **a) Les sucres**

Dans le blanc d'œuf, les glucides se trouvent sous deux formes :

- Une forme libre, qui représente 0,5% du poids de l'albumen (glucose à 98%);
- Une forme liée aux protéines sous la forme d'oligosaccharides représentant également 0,5% du poids de l'albumen (essentiellement glucosamine et mannose, mais aussi galactose, acides sialiques et galactosamine) (Lechevalier, 2005).

Dans les glycoprotéines animales, seules l'asparagine, la sérine et la thréonine peuvent intervenir dans la liaison protéine-sucre. Ces liaisons peuvent être classées en deux catégories : les liaisons N-acetylglucosamine et les liaisons séryl et thréonyl O-substituées présentes au sein des protéines du blanc d'œuf (Lechevalier, 2005).

**b) La fraction inorganique**

Les données sur la composition en minéraux de l'œuf varient selon les auteurs. La teneur en minéraux dépend en effet de nombreux facteurs, notamment des paramètres zootechniques. Ainsi, suivant les lots d'œufs analysés, les concentrations en certains minéraux peuvent varier. A partir de 100 échantillons de 60 œufs, des coefficients de variation de 8 à 11% pour les macroéléments minéraux (Na, K, P, Ca), de 12% pour le Fe, de 28% pour le Mn et le Zn et jusqu'à 40% pour le Cu (tableau II) ont été noté (Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

**Tableau II :** Composition minérale moyenne du blanc d'œuf comparée à celle du jaune et de l'entier (Nys et Sauveur, 2004).

<b>Minéraux</b>	<b>Œuf entier (mg pour 100 g)</b>	<b>Blanc (mg pour 100g)</b>	<b>Jaune (mg pour 100g)</b>
Sodium (Na)	120	155	50
Chlore (Cl)	172	175	162
Potassium (K)	125	140	100
Calcium (Ca)	50	8	133
Phosphore (P)	193	18	530
Magnésium (Mg)	12	10	15
Fer (Fe)	1,7	0,1	4,8
Zinc (Zn)	1,3	0,12	3,9
Cuivre (Cu)	0,06	0,02	0,14
Manganèse (Mn)	0,04	0,007	0,11
Iode (I)	0,05	0,003	0,14
Sélénium (Se)	0,025	nd	nd
Chrome (Cr)	0,0085	nd	nd
Molybdène (Mo)	0,006	nd	nd
Soufre (S)	164	163	165
<b>Total</b>	<b>700</b>	<b>500</b>	<b>1600</b>



Le blanc d'œuf renferme également du gaz carbonique, en équilibre avec le bicarbonate (96% du CO<sub>2</sub> total), qui joue un rôle fondamental en contrôlant le pH. La quantité de CO<sub>2</sub> dissout est proportionnelle à sa pression partielle dans l'environnement (Lechevalier, 2005).

### c) Les vitamines

Le blanc d'œuf est dépourvu de vitamine C, en revanche le blanc contient l'ensemble des vitamines du groupe B, vitamines qui sont hydrosolubles (Mine *et al.*, 2006).

Les vitamines liposolubles (vitamines A, D, E, et K) sont quant à elles exclusivement contenues dans le jaune (tableau III) (Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

**Tableau III** : Composition en vitamines du blanc d'œuf comparée à celle du jaune et de l'entier (en µg pour 100 g) (Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

<b>Vitamines</b>	<b>Œuf entier (µg pour 100g)</b>	<b>Blanc (µg pour 100)</b>	<b>Jaunes (µg pour 100g)</b>
Vitamines hydrosolubles	2541	809,1	5862,8
Acide ascorbique C	0	0	0
Thiamine B1	91	10	250
Riboflavine B2	447	430	480
Niacine B3	79	90	60
Acide pantothénique B5	1700	250	4500
Pyridoxine B6	138	10	370
Biotine B8	25	7	60
Acide folique B9	60	12	140
Cobalamine B12	1	0,1	2,8
Vitamines liposolubles	1452	0	4054,5
A (équivalent Rétinol)	150	0	450
D	1,5	0	4,5
E	1300	0	3600
K	4,25	0	15

### L.4. Propriétés du blanc d'œuf

Le blanc d'œuf est un ingrédient alimentaire largement utilisé, du fait de ses nombreuses propriétés techno-fonctionnelles parmi lesquelles des propriétés moussantes, liantes, émulsifiantes, gélifiantes (Nau *et al.*, 1996; Hiidenhovi, 2015 ).

Cependant, ces propriétés technologiques sont affectées par de nombreux facteurs intrinsèques incluant la structure et la conformation des protéines, et extrinsèques (la température, le pH, la force

ionique, les interactions protéine-protéine et protéine-eau), qui sont modifiées par les traitements technologiques (mécanique et thermique) de fractionnement, de mélange... (Nathier-Dufair, 2005; Alamprese, 2012).

### ❖ Viscosité

La viscosité du blanc d'œuf est une caractéristique importante, qui détermine les propriétés fonctionnelles comme émulsifications, et propriétés gélifiantes (Kannan *et al.*, 2013).

La viscosité de l'albumen dépend de nombreux facteurs dont des facteurs zootechniques (âge et alimentation des poules), durée du stockage, fraction de l'albumen considérée (blanc liquide ou blanc épais), conditions de mesure (température, concentration en protéine, pH,... etc) (Lechevalier, 2005).

### ❖ Pouvoir foisonnant ou moussant

L'albumen d'œufs a d'excellentes propriétés moussantes, qui sont déterminées par la capacité d'adsorber rapidement à l'interface air-liquide, et par sa capacité à former un film cohésif viscoélastique par voie d'interactions intermoléculaires (Lomakina *et al.*, 2006).

C'est une propriété très recherchée du blanc, qui fait intervenir les globulines, l'ovomucine et l'ovalbumine :

Les globulines sont les principales protéines responsables de la formation de la mousse, l'ovomucine dénaturée par le battage forme un film insoluble, qui stabilise la mousse. Par contre, la formation du complexe ovomucine-lysozyme diminue fortement le pouvoir moussant de l'albumen (Nathier-Dufair, 2005).

Ces propriétés sont utilisées dans la formulation de nombreux aliments comme ingrédient dans des produits de boulangerie pour donner une grande contribution de la structure de la pâte et gâteau cuit pour son apparence (Alamprese *et al.*, 2012).

### ❖ Propriétés gélifiantes

Les protéines de l'œuf sont à l'origine de la coagulation, qui se produit sous l'action d'agents physiques ou chimiques, donc l'œuf passe d'un état fluide à un état solide appelé coagulum (Nathier-Dufair, 2005) (Voir le chapitre II).

### ❖ Propriétés liantes

C'est la formation d'un film protecteur autour des particules ou d'un réseau fibrillaire dont les mailles emprisonnent ces mêmes particules, c'est une combinaison entre le pouvoir coagulant et émulsifiant, l'ovalbumine est la protéine qui représente le meilleur pouvoir liant par rapport aux autres protéines du blanc d'œuf (Fredot, 2005; Dumas *et al.*, 2007).



## Chapitre II : Thermo-gélification du blanc d'œuf

### II.1. Définition d'un gel protéique

Les gels sont considérés comme étant un état intermédiaire entre un solide et un liquide, ils sont constitués de polymères reliés entre eux par des liaisons covalentes (ponts disulfures, liaisons isopeptidiques...), ou non covalentes (liaison hydrogènes, hydrophobes, liaisons de van der waals...) (Lechevalier, 2005 ; Guérin-Dubiard *et al.*, 2010 ).

La capacité des polymères alimentaires à produire des gels dépend de la formation des zones de jonction entre les molécules de polymère ou des agrégats, qui limite l'expansion du réseau (Zuniga et Aguilera, 2008).

Dans le cas des protéines du blanc d'œuf, des gels particuliers ou filamenteux peuvent être obtenus suivants les caractéristiques physico-chimiques du milieu (pH, force ionique...), qui influent les cinétiques de dénaturation et d'agrégation des protéines (Guérin-Dubiard *et al.*, 2010). Le réseau fournit une matrice qui retient l'eau, les composés aromatiques et autres ingrédients alimentaires et confère en plus au produit des propriétés rhéologiques uniques (Lechevalier, 2005).

#### II .1.1. Caractéristiques d'un gel

Les caractéristiques des gels dépendent essentiellement du rapport des constantes, de vitesse de dénaturation et d'agrégation des protéines. Ce rapport conditionne la balance des interactions protéines-protéines et protéines-solvant et donc l'aspect de la structure gélifiée obtenue (formation d'un gel filamenteux ou d'un gel particulière) (Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

Les gels peuvent être caractérisés par leur capacité à retenir le liquide, par leur structure macromoléculaire, par leur texture, ainsi que par leurs propriétés rhéologiques (Lechevalier, 2005; Alloeni, 2006).

Quand la cinétique de dénaturation ou la barrière énergétique de l'agrégation, sont limitant ( $k_d < k_a$ ), les molécules s'agrègent aléatoirement en un gel grossier, turbide, sans élasticité et présentant une faible capacité de rétention d'eau ; le gel est dit particulière, lorsque les conditions du milieu favorisent le déploiement des protéines (cinétique d'agrégation limitant,  $k_d > k_a$ ) ou qu'il existe une forte barrière énergétique à l'agrégation, les molécules dénaturées s'organisent en un réseau ordonné, élastique, transparent et qui peut emprisonner de grandes quantités d'eau dans ses mailles, le gel obtenu est dit filamenteux (Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

L'aspect visuel des gels dépend, des interactions électrostatiques entre les protéines globulaires. Il change complètement, de transparent à opaque avec l'augmentation de la force ionique ou quand

le pH s'approche du pI. L'augmentation significative de la turbidité sur une gamme étroite du pH ou de la force ionique n'est pas corrélée à un changement de la structure globale, et ne doit pas donc être attribuée à l'interaction entre les agrégats pendant qu'ils croissent et forment un gel (Guéwoul-Guèdè, 2010).

### II .1.2. Mécanisme de gélification

La formation de gel du blanc d'œuf est similaire aux protéines de lactosérum, c'est un procédé à deux étapes : de dénaturation suivie par l'agrégation des protéines dénaturées a lieu quand la température augmente. A des températures supérieures à 61 °C, le blanc d'œuf commence à perdre sa fluidité initiée par la dénaturation de la conalbumine, suivie par la dénaturation du lysozyme et l'ovalbumine (Aguilera *et al.*, 2004).

Le processus de gélification est terminé lorsque la protéine majeure (l'ovalbumine) est dénaturée à 85°C°, elle est impliquée dans le développement du réseau de gel (Aguilera *et al.*, 2004 ; Hui *et al.*, 2008).

#### a) Dénaturation thermique des protéines

La dénaturation est une transformation de la protéine native, en un état désordonné sans rupture des liaisons covalentes. Dans le cas de la gélification thermique ; c'est l'énergie thermique apporté par le chauffage qui constitue la force motrice pour la formation du gel protéique, même s'il peut être couplé à des évolutions de pH ou de force ionique, l'énergie thermique induit des modifications dans la structure des protéines : dissociation des liaisons hydrogènes, déploiement des chaînes polypeptidiques, démasquage et exposition des résidus hydrophobes et de groupements réactifs (groupement thiols et ponts disulfures) enfouis au cœur des protéines à l'état natif (Lechevalier, 2005; Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

#### b) Agrégation des protéines

Au cours de la dénaturation des protéines, les forces attractives entre les protéines augmentent par exposition de résidus hydrophobes et de groupements réactifs, lorsque leur intensité compense les forces répulsives, les protéines peuvent s'associer (Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

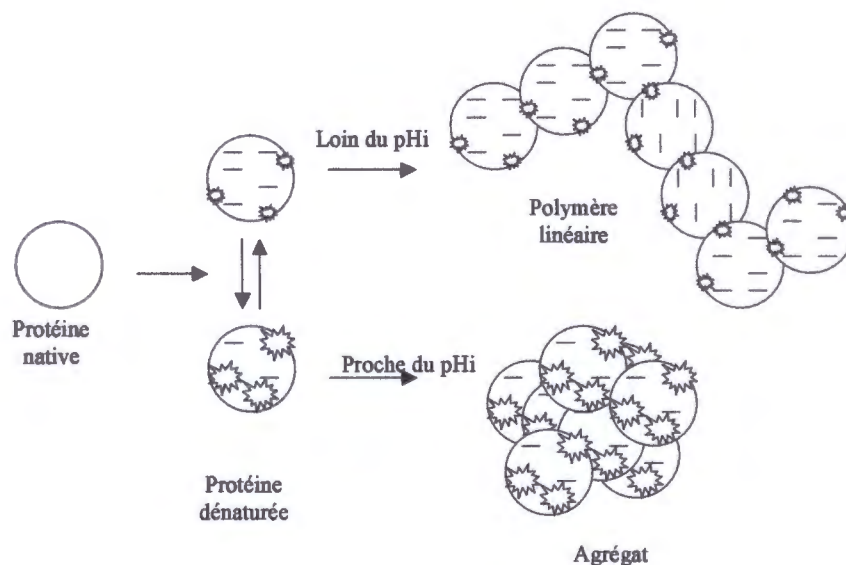
Un modèle d'agrégation qui comprend deux étapes successives à été proposé par plusieurs auteurs (Lechevalier, 2005).





Les agrégats peuvent être de 2 types en fonction de la charge portée par la protéine native :

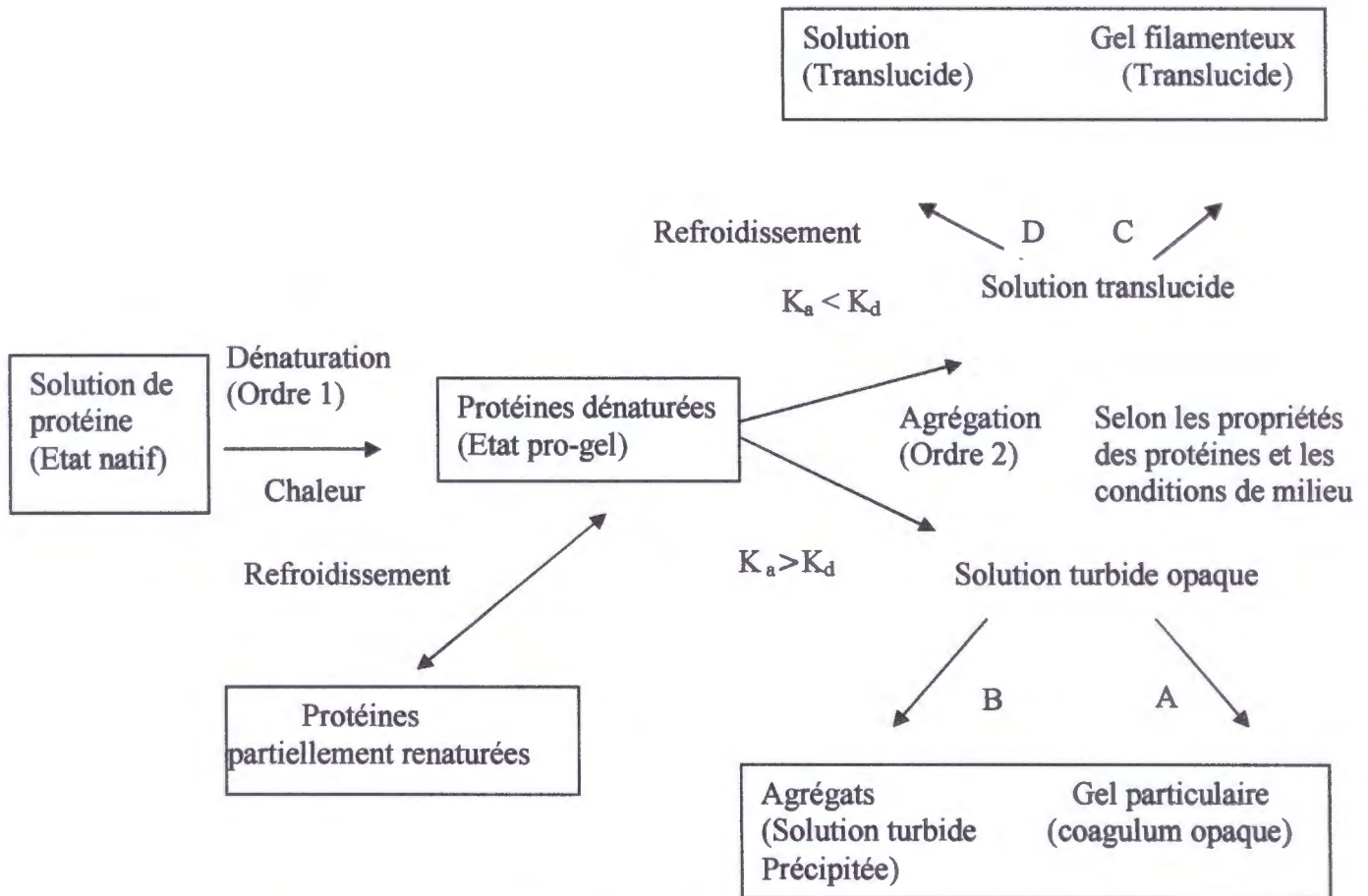
- Des agrégats linéaires ou filamenteux, quand les forces de répulsion sont importantes (pH extrêmes, faible force ionique,...). Dans ce cas, l'étape d'association est plus lente que celle de dénaturation et les interactions protéines-solvant restent importantes (Gaaloul, 2009).
- Des agrégats dits "aléatoires" ou coagulum quand les forces de répulsion sont faibles (pH voisin du pHi, forte force ionique,...). L'agrégation intervient alors avant la dénaturation, les interactions protéine-protéine sont favorisées et les agrégats se présentent sous l'aspect de "paquets" de molécules. La structure du réseau de gel provoquée par la chaleur est fortement dépendante de l'équilibre entre les forces attractives et répulsives des molécules dénaturées de protéine pendant l'agrégation (figure 5) (Gaaloul, 2009; Rodrigues *et al.*, 2015).



**Figure 5** : Représentation schématique de la gélification thermique des protéines globulaires (Lechevalier, 2005).

La réaction d'agrégation est une cinétique, elle dépend du potentiel de surface de l'hydratation des protéines, en plus, la cinétique d'agrégation dépend de la cinétique à laquelle des molécules susceptibles de s'associer sont générées. Étant donné que la cinétique de l'étape de dénaturation par

rapport à l'étape d'agrégation semble important dans la détermination du type de gel produit (Figure 6) (Gossett *et al.*, 1984 ; Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).



**Figure 6:** Schéma explicatif de la cinétique de dénaturation et d'agrégation des protéines (Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

### II.3. Influence de la chaleur et de quelques additifs alimentaires sur la gélification

#### II.3.1. La chaleur

A l'exception de l'ovomucine et de l'ovomucoïde, toutes les protéines du blanc d'œuf coagulent sous l'effet de la chaleur, la dénaturation débute vers 55°C, donc le blanc d'œuf perd sa fluidité vers 60°C cependant, le maximum de fermeté des gels n'est atteint que pour des températures excédant 70°C (Lechevalier, 2005; Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

En effet, la fermeté des gels est corrélée avec l'intensité du traitement thermique jusqu'à un optimum, la dénaturation thermique provoque un changement de conformation et une augmentation

de flexibilité des protéines dont l'ampleur dépend de la température et la durée du chauffage, il en résulte une optimisation des zones de contact pour l'agrégation des protéines (Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

Autant de résultats différents sont obtenus concernant les températures de transition, les gels formés ainsi, ayant des modules élastiques qui dépendent de la structure des réseaux et donc du nombre de protéines qui ont coagulé (Nathier-Dufair, 2005).

### **II.3.2. Additifs alimentaires**

Les interactions de sucre et de sel avec les protéines du blanc d'œuf peuvent être d'intérêt dans les produits alimentaires. Le sucre et le sel augmentent la température de dénaturation des protéines du blanc d'œuf et donc retardent la formation d'agrégats (Raikos *et al.*, 2007).

#### **II.3.2.1. Définition d'un additif alimentaire**

Un additif alimentaire, est toute substance qui n'est pas normalement consommée en tant que denrée alimentaire, ni utilisée normalement comme ingrédient caractéristique d'une denrée alimentaire, qu'elle ait ou non une valeur nutritive, additionné intentionnellement à une denrée alimentaire dans un but technologique et organoleptique à une étape quelconque de la fabrication, de la transformation, de la préparation, du traitement, du conditionnement, de l'emballage, du transport ou de l'entreposage (Codex Alimentarius, 1995).

#### **II.3.2.2. Les sucres**

Le sucre est un agent protecteur de l'effet dénaturant des traitements thermiques ; la présence de sucre avant le chauffage du blanc d'œuf diminue légèrement les propriétés rhéologiques des gels (Lechevalier, 2005).

Les sucres (mono-ou disaccharides) présentent souvent un effet thermoprotecteur sur les protéines globulaires. L'augmentation de la température de dénaturation des protéines suite à l'ajout de telles molécules de faibles poids moléculaires est effective autour de la neutralité. Pour le blanc d'œuf, cet effet est principalement marqué à pH 8,5. L'ovalbumine et conalbumine montrent une augmentation de la température de dénaturation en présence de glucose et de saccharose, avec la plus forte augmentation pour le glucose, donc les sucres protègent les protéines contre les pertes de la solubilité pendant le chauffage et peuvent inhiber la coagulation (Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

L'influence des sucres sur la structure et la stabilité conformationnelle peut se manifester soit par interaction directe de la protéine ou d'une interaction indirecte via la modification du milieu de solvant qui tend à augmenter la tension de surface de l'eau, et renforce des interactions hydrophobes



intermoléculaires au sein des protéines natives ou une combinaison des deux à la fois. Les faibles concentrations de sucre augmentent le nombre de liaisons hydrophobes; plus les concentrations de sucre sont encore accrues, plus ces interactions sont renforcées (Guérin-Dubiard *et al.*, 2010 ; Damodaran *et al.*, 1997).

### II.3.2.3. Les sels

Les sels augmentent la température de dénaturation des protéines du blanc d'œuf en retardant la formation d'agrégat, et inhibent les interactions entre les molécules d'eau et des groupes hydrophiles des protéines, ce qui entraîne une augmentation de l'hydrophobicité qui favorise la conformation de la protéine native (Raikos *et al.*, 2007).

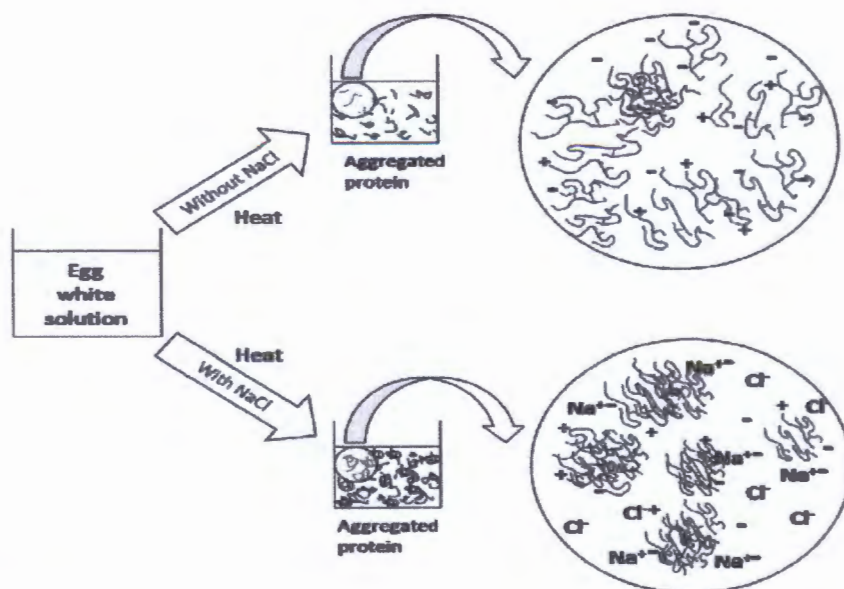
De nombreux auteurs ont étudié l'effet de l'ajout des sels sur les propriétés gélifiantes du blanc d'œuf. Ainsi, ont obtenu un maximum de fermeté des gels pour un apport de NaCl compris entre 50 et 100 mM. En revanche, ne notaient pas de variations de la fermeté de gels pour de faibles ajouts de NaCl, mais à 0.9 M, les gels étaient moins fermes, donc l'effet de l'ajout de NaCl dépendait du pH. Les modifications de l'organisation du réseau sont vraisemblablement dues à l'écrantage des charges négatives des protéines par le sodium, une modification de la force ionique du blanc d'œuf modifie le degré de répulsion électrostatique entre protéines, ce qui influe l'état du gel formé (Figure 7) (Lechevalier, 2005).

L'effet de ces derniers, sur la solubilité des protéines dans des solutions aqueuses est fonction des espèces ioniques présentes, une concentration en sel de 0,15 mol/L est suffisante pour changer la structure de l'eau et de la conformation des protéines. Cependant, cela dépendra de la teneur et le type de sel présent dans le milieu (Machado *et al.*, 2007)

Parmi les plus influents, on peut citer les cations comme le fer, le cuivre, l'aluminium, le calcium, le magnésium, mais aussi certains anions comme le sulfate, le phosphate et le citrate, leurs effets sont liés à des fixations spécifiques sur les protéines du blanc d'œuf, ils agissent soit en stabilisant l'ovotransferrine et ainsi retardent le processus de thermogélification du blanc d'œuf, soit en déstabilisant l'ovalbumine par modification de sa charge de surface. L'ovotransferrine est particulièrement sensible à la chaleur a moins d'être complexée avec le fer, le cuivre, l'aluminium. Cependant, ces éléments n'ont pas la même incidence sur les propriétés gélifiantes du blanc d'œuf : les gels de blanc sont plus fermes en présence de FeCl<sub>3</sub>, tandis que la présence de CuSO<sub>4</sub> et AlCl<sub>2</sub> ont un effet inverse (Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).

La présence de calcium et de magnésium affecte les propriétés gélifiantes du blanc d'œuf à pH 7; l'effet de ces cations semble lié à leur fixation sur l'ovalbumine, et plus particulièrement au niveau

des phosphosérines de l'ovalbumine. En effet l'ajout du calcium et du magnésium diminue l'élasticité et la viscosité des gels (Guérin-Dubiard *et al.*, 2010).



**Figure 7** : Schéma représentatif d'aggrégation du blanc d'œuf sans et avec NaCl (Kaewmanee *et al.*, 2011).

### II.3.3. D'autres facteurs

#### a) Influence du pH

L'influence du pH sur les propriétés gélifiantes intervient via deux mécanismes: la modification de la charge nette des protéines en solution et de la réactivité des groupements thiols dans la zone de pH allant de 7 à 9 (Lechevalier, 2005).

Les protéines d'œufs sont plus sensibles à la chaleur, lorsqu'ils sont présents dans un milieu très acide. Cela veut dire que la dénaturation et la formation du réseau de gel avec une perte subséquente de fluidité se produit à des températures inférieures par rapport quand le blanc d'œuf est chauffé dans leur pH natif de milieu (Raikos *et al.*, 2007).

Au pHi, la charge nette des protéines est nulle, ce qui facilite leur association de manière aléatoire en structures désordonnées, aboutissant à la formation d'un coagulum. Lorsque la charge de la protéine augmente, le processus de thermocoagulation est retardé; les protéines ont alors le temps de se déplisser avant de s'associer sous forme de polymères. Les répulsions électrostatiques permettent de limiter les associations intermoléculaires à une faible part de la protéine. Loin de leur pHi, les protéines forment donc des polymères linéaires doués de propriétés gélifiantes remarquables (Lechevalier, 2005).



Près de pI (pH), la dénaturation des protéines conduit à une agrégation grossière et le coagulum a de faibles propriétés viscoélastiques et un faible pouvoir rétenteur d'eau (PRE) (Lechevalier, 2005 ; Alamprese *et al.*, 2012).

#### **b) L'influence des polyphénols**

Une des originalités majeures des végétaux réside dans leur capacité à synthétiser diverses substances naturelles secondaires, par opposition aux métabolites primaires que sont les protéines, les glucides et les lipides, dont la fonction physiologique n'est pas toujours évidente, mais qui représentent une source importante de molécules utilisables par l'Homme dans des domaines aussi différents que la pharmacologie ou l'agroalimentaire ; l'appellation « polyphénols » ou « composés phénoliques » regroupe un vaste ensemble de plus de 8 000 molécules, présentant toutes un point commun : la présence dans leur structure d'au moins un cycle aromatique à six atomes de carbones, lui-même porteur d'un nombre variable de fonctions hydroxyles libres ou engagées dans une autre fonction : éther, ester, hétéroside, ... etc. (Ozidal *et al.*, 2013).

Ils peuvent être regroupés en de nombreuses classes, qui se différencient d'abord par : la complexité du squelette de base (allant d'un simple C6 à des formes très polymérisées), par le degré de modification de ce dernier (degré d'oxydation, d'hydroxylation, de méthylation, ...), et en dernier lieu par les liaisons possibles de ces molécules de bases avec d'autres molécules (glucides, lipides, protéines, ...). La formation du complexe protéine -polyphénol résulte des liaisons hydrogènes et des interactions hydrophobes (Prigent *et al.*, 2009; Ozidal *et al.*, 2013).

Il est admis qu'il existe des interactions réversibles entre polyphénols et les protéines en solution, conduisant à un équilibre entre les complexes polyphénols/ protéines solubles et les réactifs. Ces complexes solubles peuvent atteindre une taille où ils ne sont plus solubles, ou ils peuvent agréger ou subir des modifications résultant des précipitations ; la formation de ces complexes insolubles est généralement réversible ils peuvent se redissoudre, par exemple, par des changements de pH (Bennick, 2002).

L'augmentation de la teneur des composés phénoliques diminue la solubilité des protéines. En outre, l'interaction des protéines avec les composés phénoliques peut améliorer la stabilité thermique des protéines. Ces interactions changent également la charge nette des molécules protéiques en augmentant leurs poids moléculaire, qui affecte alternativement la solubilité. Les structures secondaires et tertiaires des protéines changent en raison de ces interactions, influençant les propriétés extérieures des molécules en les rendant hydrophiles. Ce changement des propriétés

hydrophile/hydrophobe, peut affecter non seulement le comportement de solubilité, mais également d'autres propriétés fonctionnelles comme l'émulsification... etc. (Ozidal *et al.*, 2013).

Ces interactions peuvent être affectées par plusieurs paramètres tel que : la température, pH, types de protéines, concentration en protéine, types et structures de composés phénoliques, concentration en sel, et addition de certains réactifs. D'autre part, les protéines peuvent également mener à quelques changements indésirables de couleur et de goût quand elles sont mélangées avec des composés phénoliques, du point de vue de valeur nutritive et de digestibilité, les interactions protéines –polyphénols diminuent cette dernière (Prigent *et al.*, 2009; Ozdal *et al.*, 2013).

## Chapitre I: Matériel et méthodes

### L1. Matériel biologique

Les œufs de poule utilisés dans cette étude sont relevés chez les commerçants de la région de Jijel, collectés dans des emballages tels qu'ils sont commercialisés (dans des sachets en plastique transparents).

### L2. Produits chimiques et réactifs

- Eau distillée ;
- Sucres (glucose et saccharose) ;
- NaCl;
- Acide chlorhydrique (HCl) ;
- Des polyphénols sous forme de poudre, purs fournis par le laboratoire de la faculté des sciences (quercétine, acide gallique, et acide tannique à concentration 0,1 et 0,5%) ;
- L'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ );
- Catalyseurs : sulfate de potassium ( $KSO_4$ ), sulfate de cuivre ( $CuSO_4$ ) ;
- Acide borique ( $H_3BO_3$ ) ;
- KCl ;
- Indicateur de Tashiro.

### L3. Appareillage et verrerie

L'appareillage utilisé dans ce travail est le suivant:

- pH mètre (HANNA instrument) ;
- Bain marie (Mettler) ;
- Four à moufle réglable à 550°C (Furnace) ;
- Etuve (Mettler) ;
- Spectroscopie infrarouge (IRAffinity-1 SHIMADZU) ;
- Microscope optique à caméra (Olympus) ;
- Centrifugeuse (Hettich ZENTRIFUGEM);
- Balance (KERN) ;
- Réfrigérateur (Condor) ;



- Dessiccateur ;
- Papier wattman ( $\phi$ 110mm) ;
- Presse à pastille ;
- L'appareil de Kjeldahl ;
- Pipettes, tubes à essai, erlenmeyer, éprouvettes, fiole, béchers, lames, mortier, bistouri.

#### **I.4. Méthodes**

##### **I.4.1. Préparation des échantillons**

Après lavage et nettoyage des œufs, ils sont préparés manuellement en cassant les œufs, puis en séparant le blanc d'œuf du jaune en prenant précaution d'enlever les chalazes.

L'examen visuel consiste à observer la couleur, l'opacité, ainsi que la présence ou non d'éventuel corps étrangers dans le blanc d'œuf. Ceci est complété par l'examen de l'odeur et de la viscosité.

##### **I.4.2. Analyses physico-chimiques**

###### **I.4.2.1. Mesure de pH**

La mesure du pH consiste à plonger l'électrode du pH mètre de modèle (HANNA) dans un bécher contenant 20 ml d'échantillon à 25 °C et lire la valeur enregistrée sur l'écran. L'opération est répétée trois fois (Maquelim *et al.*, 2010).

###### **I.4.2.2. Teneur en matière sèche (CEE-ONU N°63, 1989)**

5 g d'échantillon de blanc d'œuf sont pesés dans un creuset et placés dans l'étuve à 105°C pendant 5 heures, puis on le laisse refroidir dans un dessiccateur et on pèse à nouveau, jusqu'à avoir un poids constant. La teneur totale en matière sèche, exprimée en pourcentage du poids de l'échantillon, est donnée par la formule suivante :

$$MS(\%) = \frac{m_0}{m_1} \times 100$$

Où :

- $m_0$  : masse de la prise d'essai (g) ;
- $m_1$  : masse de l'échantillon après étuvage (g) ;
- **MS** : teneur en matière sèche (%).

#### **L4.2.3. Teneur en matière organique et minérale (NF V 05-113, 1972)**

Un échantillon de 5g de blanc d'œuf est mis dans un creuset ( $M_1$ ), puis placé dans un four à moufle règle à  $550 \pm 15$  °C pendant 5 heures jusqu'à obtention d'une couleur grise, claire ou blanchâtre, après refroidissement dans un dessiccateur, on pèse les creusets ( $M_2$ ). Cette mesure est répétée trois fois. La teneur en matière organique est exprimée par la formule suivante :

$$MO(\%) = (M_1 - M_2) / p$$

Soit :

**MO:** matière organique en (%) ;

**$M_1$ :** masse de creuset + prise d'essai (g) ;

**$M_2$ :** masse de creuset + cendres (g) ;

**P:** masse de la prise d'essai (g).

La teneur en cendres ( $Cd\%$ ) est calculée comme suit :

$$Cd(\%) = 100 - MO\%$$

#### **L4.2.4. Dosage des protéines par la méthode de Kjeldahl (NF V04-407, 2002).**

La teneur des protéines du blanc d'œuf est mesurée par la méthode de Kjeldahl, elle est obtenue en multipliant le taux d'azote par le facteur 6,12 (voir l'annexe 1).

### **L4.3. Thermogélification du blanc d'œuf**

#### **L4.3. 1. Préparation des gels du blanc d'œuf**

##### **a) Sans additifs**

10 ml de blanc d'œuf ont été mis dans des béchers et recouverts de papier aluminium, placés dans un bain-marie (Memmert) chauffé à 86, 89 et 92 °C pendant 30 min, puis ils sont retirés et refroidis immédiatement dans un bain de glace pendant 2 minutes.

##### **b) Avec additifs alimentaires**

Les gels ont été préparés comme précédemment, mais avant d'appliquer le traitement thermique, nous avons ajouté différents additifs de différentes concentrations :

- ✓ NaCl (3, 6, 12 %)
- ✓ glucose et saccharose (3, 6, 12 %)
- ✓ Polyphénols purs : quercétine, acide gallique et acide tannique, (0,1 et 0,5%).



Ces additifs doivent être bien mélangés dans le blanc d'œuf avant d'appliquer le traitement thermique.

### **I.4.4. Etude des paramètres des gels**

#### **I.4.4. 1. Le pouvoir rétenteur d'eau (PRE) (Hajiduon *et al.*, 2012)**

Un cube de gel de 1,25 g est coupé à l'aide d'un bistouri et enveloppé avec du papier filtre Wattman ( $\phi$ 110mm) taré et centrifugé à 1700x g pendant 30 minutes à 20°C.

La quantité d'eau écoulée du gel a été estimée à partir de la différence de poids de papier Wattman avant et après centrifugation (la masse de l'eau expulsée), cette mesure est répétée deux fois. Le PRE est calculé par l'équation suivante:

$$\text{PRE (g/kg)} = [(1 - M_w/M_s) 1000]$$

Où :

**Ms** : masse initiale de l'échantillon (g) ;

**Mw** : masse de l'eau expulsée (g).

#### **I.4.4. 2. Structure interne du gel**

Une couche très fine (1mm d'épaisseur) de gel a été étalée sur une lame en verre, puis observée sous microscope à caméra (Olympus) (objectif x40).

#### **I.4.4. 3. La spectroscopie infrarouge**

##### **a) Principe**

L'analyse par infrarouge est une méthode d'analyse structurale, qui révèle la nature des liaisons entre les atomes dans une molécule. Les composés organiques ont en effet la particularité de posséder des liaisons inter-atomiques, qui entrent en vibration sous l'action d'un rayonnement infrarouge à des longueurs d'onde caractéristiques. Ce phénomène s'accompagne d'une consommation d'énergie lumineuse à la longueur d'onde considérée. Il existe trois domaines d'infrarouge : le proche infrarouge (14283-4000  $\text{cm}^{-1}$ ); le moyen infrarouge (4000-400  $\text{cm}^{-1}$ ) le plus souvent exploité en chimie organique ; et le lointain infrarouge (400-10  $\text{cm}^{-1}$ ) (Thomas, 2004).

**b) Mode opératoire**

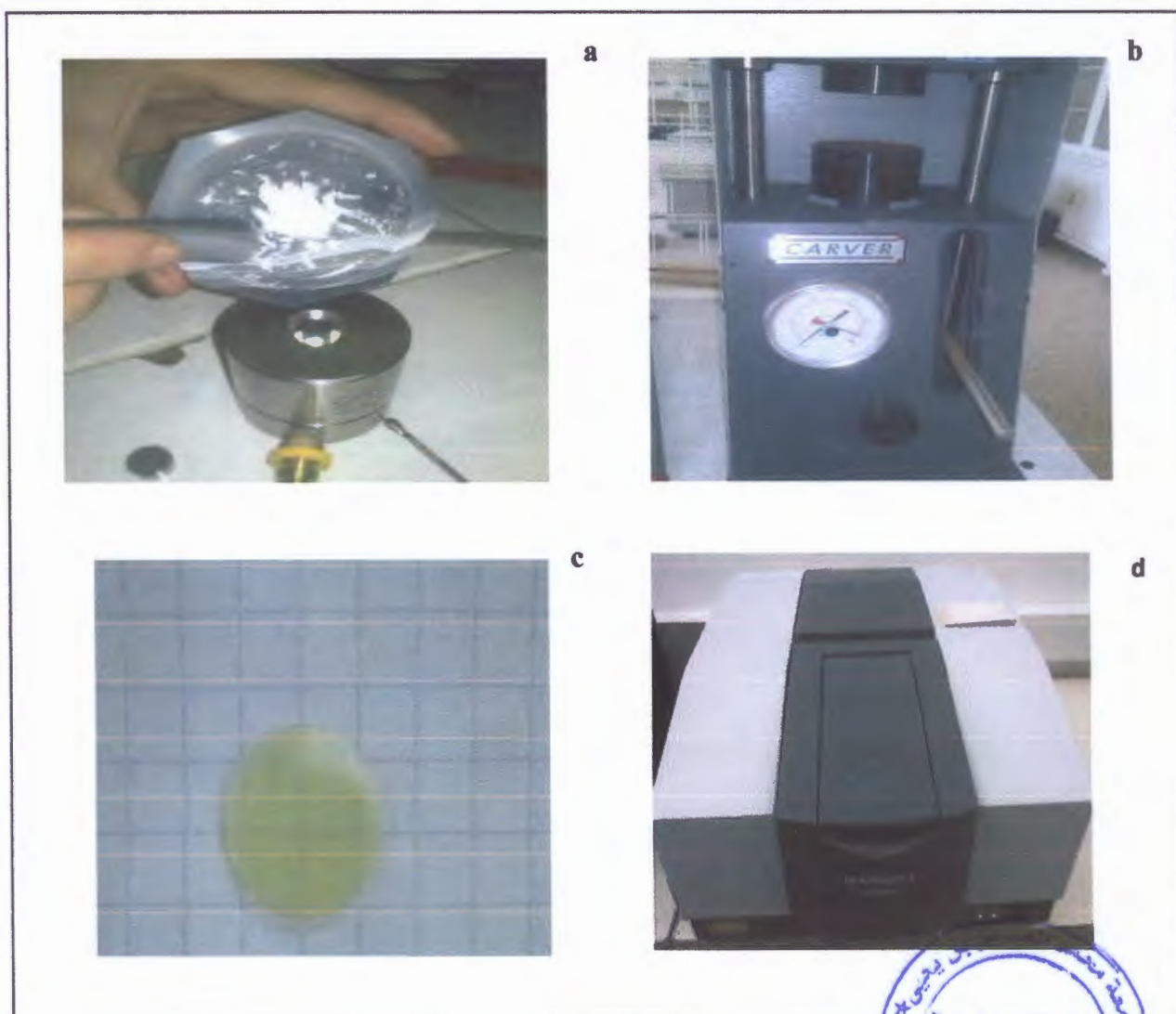
L'analyse IR été réalisée dans le laboratoire de la faculté chimie.

La préparation des pastilles est réalisée selon le protocole de la société (SHIMADZU, 2008). Le spectromètre utilisé est de type (IR Affinity-1 SHIMADZU) (figure 8, d).

Une pastille à base de KCl de 13mm de diamètre environ (figure 8, c) a été préparée, à l'aide d'une compresse mécanique (compresse à pastille) alimentée par une pompe à vide (10 torrs) pendant une dizaine de seconde (figure 8, b).

Les échantillons des gels du blanc d'œuf (1g), obtenus à 92°C/30min additionnés de saccharose, glucose, NaCl à 12%, de polyphénols (acide tannique, gallique et la quercétine) aux concentrations 0,1 et 0,5%, ont été séchés dans une étuve à 55°C pendant 3h.

Une pincé de sel (KCl) est finement broyé dans un mortier (figure 8, a), dans lequel on mélange l'échantillon déjà préparé (finement broyé également) ; les proportions sont les suivantes : 1 mg d'échantillon dans 100 mg de KCl , ce dernier sert de support pour l'échantillon. Ensuite, à l'aide d'un moule à pastille et d'une presse, la poudre est soumise à une pression de (10 torrs), pendant quelques dizaines de secondes. Sous l'effet de la pression, on obtient une pastille homogène et translucide que l'on pourra analyser directement. Ce procédé va permettre la formation de pastilles transparentes (figure 8, c). Un vide inadéquat peut entraîner la formation de pastilles très fragiles qui dispersent la lumière (le KCl n'absorbe pas dans ces conditions). Les pastilles obtenues étaient analysées par une spectroscopie infrarouge, pour obtenir des spectres caractéristiques pour chaque gel.



**Figure 8** : Etapes de préparation du gel de blanc d'œuf pour l'infrarouge, (a) une pincée de sel (KCl) broyé dans un mortier avec l'échantillon du blanc d'œuf, (b) compresse mécanique (comprime à pastille), (c) une pastille, (d) spectroscopie infrarouge (IR Affinity-1 IR SHIMADZU).

## II. Analyse statistique

Les résultats ont été donnés sous forme de moyennes et écart-types. La différence entre les moyennes de différents échantillons a été déterminée par l'analyse de variance à un facteur ANOVA (*one-way analysis of variance*) par le logiciel Origin 6.0, et par le test de Student. Toutes les analyses ont été réalisées au seuil de signification de 5 %. La valeur trouvée par le calcul peut affirmer que les populations sont différentes avec un risque d'erreur  $p$  tel que: différence significative :  $p < 0,05$ ; ou non significative  $p > 0,05$ .

# **Résultats et discussion**



## **II. Résultats et discussion**

### **II.1. Description visuelle de l'albumen**

L'examen visuel des blancs d'œufs utilisés dans cette étude, montre qu'ils sont limpides, d'une odeur normale, sans aucune présence de corps étrangers ou de tâche de sang, avec une consistance visqueuse.

### **II.2 Analyses physico-chimiques**

#### **II.2.1. Mesure du pH**

Le pH du blanc d'œuf est mesuré immédiatement après cassage de l'œuf et séparation de celui-ci. Nos résultats varient entre  $8,25 \pm 0,57$  et  $9,11 \pm 0,01$ .

Selon Ngouyamsa (2007), le pH de l'albumen frais se situe entre 7,4 et 8,2 le lendemain de la ponte.

Nos résultats sont légèrement supérieurs à la valeur du pH d'un œuf frais, cette augmentation de pH résulte du fait que de nombreuses modifications physico-chimiques, avec notamment une perte de gaz carbonique, entraînent une élévation de la valeur de pH et au clivage de complexe ovomucine-lysozyme, d'où la liquéfaction du blanc d'œuf, suite au stockage des œufs (Kamana, 2007).

#### **II.2.2. Teneur en matière sèche**

La valeur obtenue est de  $12,33 \pm 0,808$  %. Ce résultat est en accord avec celui cité par Bologa *et al.* (2013), qui indique un taux de matière sèche de blanc d'œuf égale à : 12,7%.

#### **II.2.3. Teneur en matière minérale (les cendres)**

Le taux de cendre représente la quantité totale en sels minéraux présents dans un échantillon. On a enregistré une valeur de  $0,6 \pm 0,20$ %. Cette valeur est en accord avec celle rapportées par Bircan et Barringer (2002) et Nys et Sauveur (2004), qui rapportent une teneur en cendre du blanc d'œuf située entre 0,5 et 0,6%.

#### **II.2.4. Dosage des protéines par la méthode de Kjeldahl**

La teneur en protéines du blanc d'œuf mesurée par la méthode de Kjeldahl est estimée à 9,90 %. Selon Miguel *et al.* (2005) ; Alloeni (2006) et Daduang *et al.* (2007), le blanc d'œuf a une teneur en protéines de 10 à 12%.

Donc notre échantillon présente une valeur légèrement proche à celle citée par ces auteurs.

### II.3. Impact des additifs alimentaires (NaCl, glucose, saccharose) sur le PRE des gels

#### II.3.1. Impact de NaCl

Les résultats de PRE des gels de blanc d'œuf obtenus à 86, 89, 92 °C / 30 min, additionnés de NaCl (3, 6 et 12%) sont résumés dans l'annexe 2 et illustrés dans la figure suivante:

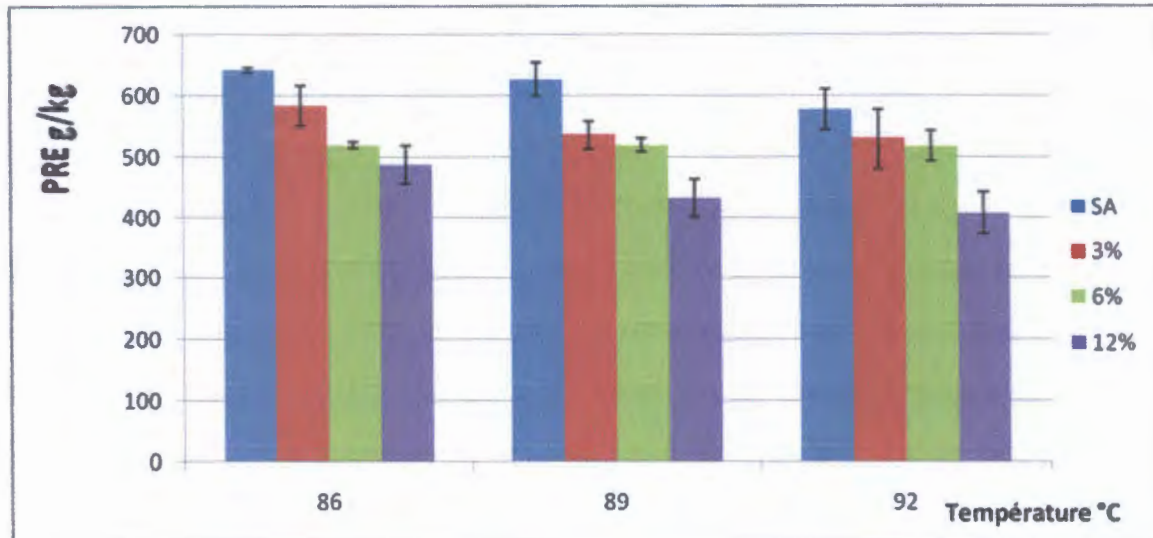


Figure 9: Effet du NaCl sur le PRE des gels du blanc d'œuf. SA: sans additif.

Pour les températures (86, 89 et 92°C), et en fixant la concentration de NaCl (3, 6 et 12%), l'analyse statistique (ANOVA), révèle des différences non significatives  $p > 0,05$ , et lorsque on fixe la température, les résultats obtenus montrent des différences non significatives pour les températures 86, 92°C, alors qu'à 89°C, elles sont significatives ( $p = 0,032 < 0,05$ ).

D'après la figure 9, on remarque que le NaCl affecte le PRE du gel de blanc d'œuf, il diminue progressivement le PRE en parallèle avec l'augmentation de la concentration et de la température, comparé au gel sans additif.

Pour la concentration de 3%, le PRE du gel est égale à :  $(584 \pm 33,94)$  g/Kg,  $(536 \pm 22,62)$  g/Kg, et à  $(530 \pm 48,08)$  g/kg pour les températures 86, 89, 92 °C, respectivement.

Pour la concentration 6% on a enregistré pour les températures 86, 89, 92°C des valeurs de PRE proches de :  $(520 \pm 5,65)$  g/Kg,  $(520 \pm 11,31)$  g/Kg et  $(518 \pm 25,45)$  g/Kg respectivement, alors qu'à 12%, la diminution de PRE est plus importante et cela pour les trois températures.

Globalement le PRE diminue avec l'augmentation de la concentration en NaCl et de la température, cela pourrait être expliqué par la fermeture du gel due à l'effet de la chaleur, car plus la chaleur



augmente, plus le gel sera plus ferme et retient moins d'eau, et à l'élévation de la teneur en NaCl, qui diminue les forces répulsives entre les protéines par écrantage des charges protéiques, donc les interactions eau-protéines sont réduites au profit des interactions protéines-protéines, ce qui conduit à la formation d'un gel où les structures en agrégats dominant qui laisse échapper les molécules d'eau, donc le PRE des gels diminue.

Selon Selmane (2012) et Santos *et al.* (2014), l'augmentation de la température décroît la fixation de l'eau par les protéines, parce que le chauffage peut provoquer leur dénaturation et leur agrégation, ce qui peut réduire la disponibilité des groupements polaires pour fixer l'eau. Dans le cas de forces ioniques élevées, les interactions eau-sels peuvent prédominer au détriment des interactions eau-protéine, ce qui aboutit à une déshydratation des protéines. Les ions de sel ont séquestré les molécules d'eau, qui solvatent la surface des protéines. En conséquence, les forces d'attractions (hydrophobes) sont formées entre les molécules de protéines, augmentant les interactions protéine-protéine et leur agrégation.

Guérin-Dubiard *et al.* (2010), rapportent que la fermeté des gels est corrélée avec l'intensité du traitement thermique jusqu'à un optimum. La dénaturation thermique provoque un changement de conformation et une augmentation de flexibilité des protéines dont l'ampleur dépend de la température et la durée du chauffage, il en résulte une optimisation des zones de contact pour l'agrégation des protéines.

Selon Raïkos *et al.*,(2007), la concentration en sels agit sur la solubilité des protéines selon deux modalités, en fonction de la compétition entre l'eau, les sels et les groupements latéraux des protéines: à faible concentration, il y'a une meilleure hydratation « salting in » , mais à forte concentration, il y'a prédominance des relations sels/eau, au détriment des relations protéine/eau, d'où une perte de solubilité c'est l'effet « salting out ».

### II.3.2. Impact du glucose

Les résultats de PRE des gels de blanc d'œuf obtenus à 86, 89, 92 °C / 30 min, additionnés de glucose (3, 6 et 12%) sont résumés dans l'annexe 2 et illustrés dans la figure suivante:

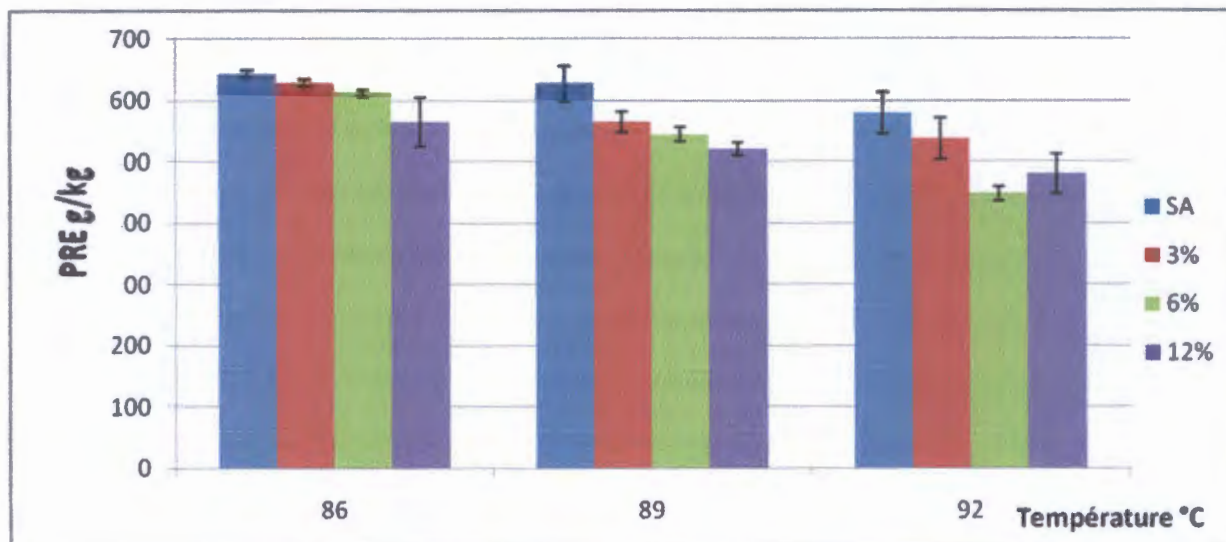


Figure 10 : Effet du glucose sur le PRE des gels du blanc d'œuf. SA : sans additif

L'analyse statistique (ANOVA) révèle que, les résultats obtenus montrent des différences significatives ( $p < 0,05$ ) pour la concentration 3 et 6%, en fixant la température. Alors que les résultats montrent des différences significatives pour la température 89°C ( $p = 0,046 < 0,05$ ), et non significatives pour 86 et 92°C, en fixant la concentration du glucose.

D'après la figure 10, on constate que l'addition du glucose aux gels du blanc d'œuf, entraîne une diminution du PRE en augmentant la température de gélification (86 à 92°C), ainsi que sa concentration (de 3 à 12%).

La concentration 3% (86°C) du glucose n'a pas d'effet remarquable sur le PRE du gel comparé au gel sans glucose, cependant pour les températures 89°C et 92°C, on note une diminution du PRE, les valeurs enregistrées sont :  $(564 \pm 16,97)$  g/Kg,  $(536 \pm 33,94)$  g/Kg, respectivement.

Pour la concentration 6% on a enregistré toujours une diminution du PRE du gel en augmentant la température, où la valeur la plus basse  $(448 \pm 11,31)$  g/ Kg est marquée pour la température 92°C. Le même effet est enregistré pour la concentration 12 % aux températures 86°C, 89°C, 92°C.



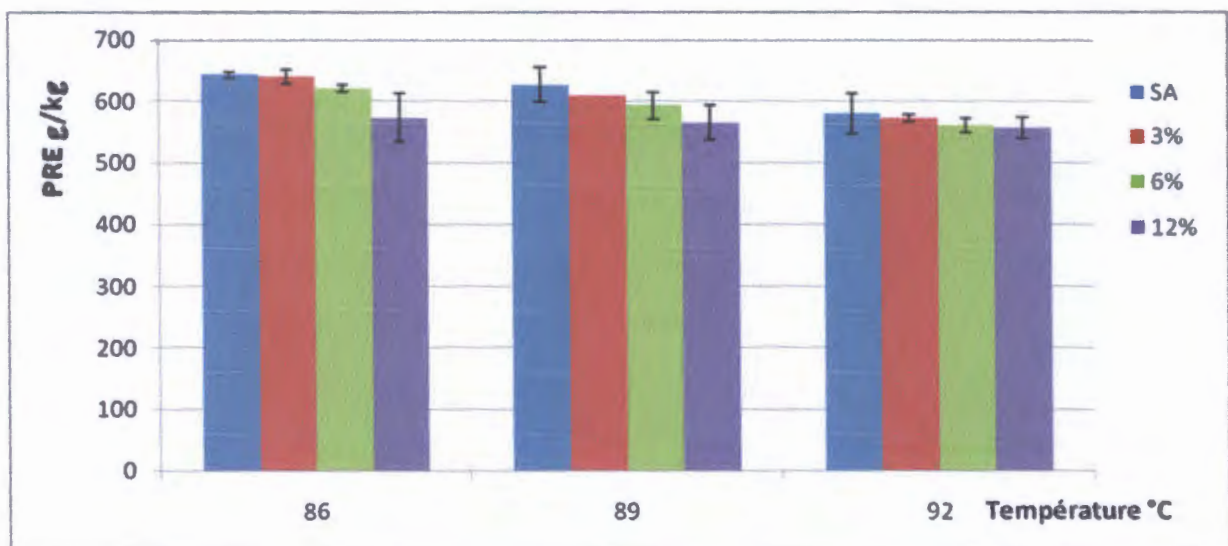
Ces résultats peuvent être expliqués par la réaction de Maillard produite entre le glucose et les protéines du blanc d'œuf sous l'effet de la chaleur, donc l'eau est exsudée de gel, ce qui explique l'augmentation de la fermeture de ce dernier, et comme résultats on obtient des valeurs de PRE basses.

Selon Damodaran *et al.* (1997) et Nafchi *et al.* (2013), le PRE des gels de blanc d'œuf est réduit lorsque le pH s'approche du pHi et lorsque la réaction de Maillard se déclenche. Plus la concentration des sucres réducteurs (ribose, arabinose et glucose) augmente, plus la réaction de Maillard s'est produite et plus l'apparition des produits acides qui vont diminuer le pH des gels. Par conséquent, quand la valeur du pH des gels était proche à son point isoélectrique, la synérèse se produit. Les sucres réducteurs affectent les interactions hydrophobes des protéines du blanc d'œufs, en diminuant la surface d'hydrophobicité des protéines, et renforcent les interactions inter-hydrophobes dans les protéines, ce qui diminue le PRE, le glucose améliore la gélification de ces protéines, car l'incubation de ceux avec du glucose conduit à une perte de la solubilité, dûe à la polymérisation des protéines par des liaisons covalentes suite de la réaction de Maillard.

D'après Hoppe (2010), la diminution de PRE des gels du blanc d'œuf est aussi due à l'effet de l'augmentation de la température, le diamètre des pores dans les gels du blanc d'œuf est sensiblement réduit après refroidissement, ce qui en résulte une diminution de leur PRE.

### II.3.3. Impact du saccharose

Les résultats de PRE des gels du blanc d'œuf obtenus à (86,89 et 92°C)/30min, additionné de saccharose sont résumés dans l'annexe 2 et illustrés dans la figure ci -dessous:



**Figure 11 :** Effet du saccharose sur le PRE des gels du blanc d'œuf. SA : sans additif

L'analyse statistique (ANOVA), montrent que les différences entre les résultats des PRE sont non significatives ( $p > 0,05$ ), concernant l'effet de la concentration, alors qu'ils sont significatives ( $p < 0,05$ ), pour la concentration 3%, lorsque on change la température.

Selon la figure 11, on remarque que, le PRE des gels additionnés de saccharose diminue légèrement en augmentant la température et la concentration de sucre, comparé aux gels sans saccharose.

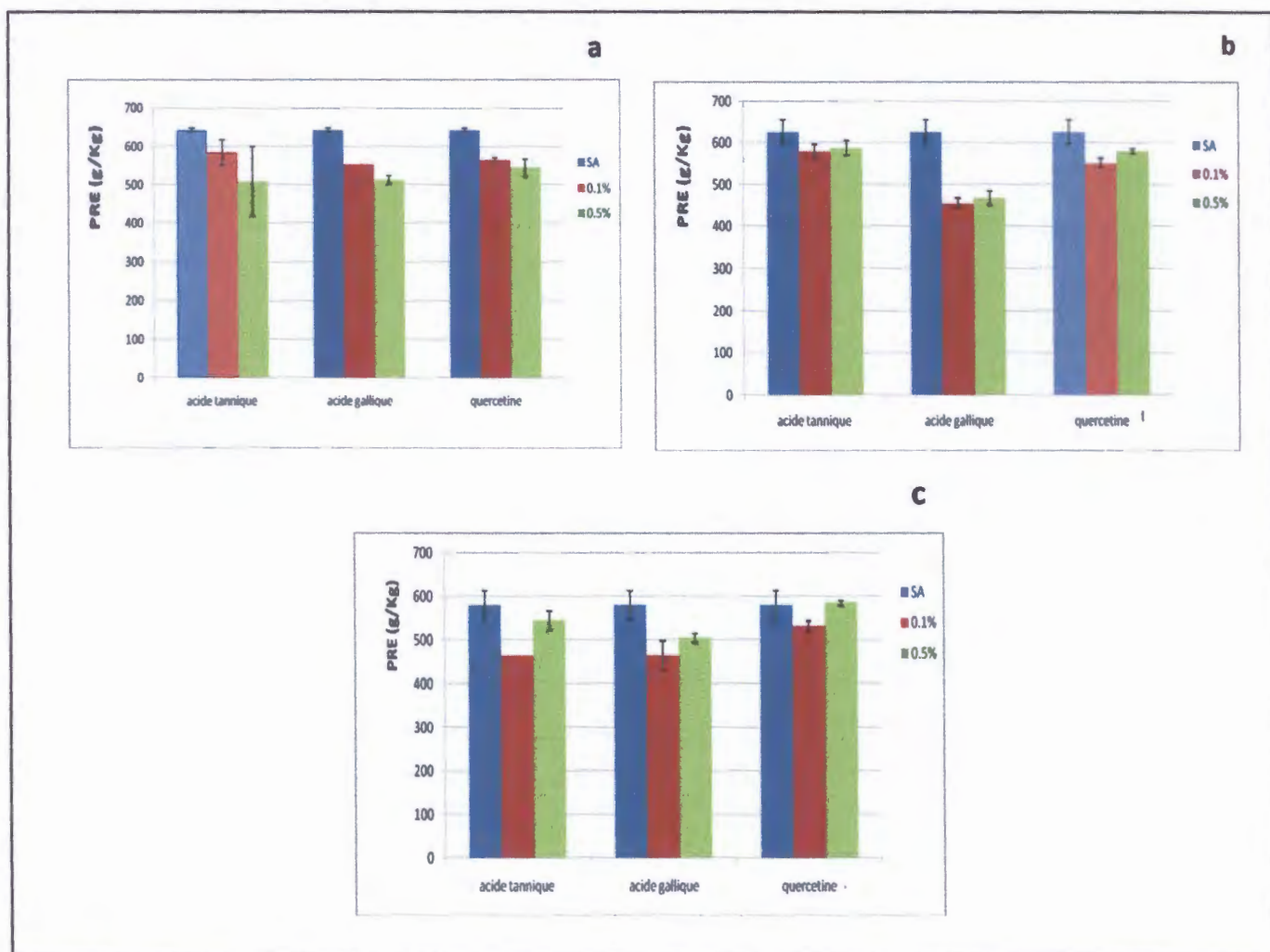
Ces résultats peuvent être expliqués par l'hydrolyse de saccharose sous l'effet de la chaleur en libérant le glucose et le fructose, qui entrent dans la réaction de Maillard, donc affectent le PRE des gels obtenus en le diminuant légèrement comparés aux gels sans saccharose.

Selon Nafchi *et al.* (2013), le saccharose agit de la même façon sur la gélification thermique du blanc d'œuf que le glucose, il augmente la température de dénaturation et de ce fait stabilise les protéines, les sucres en générale forment des liaisons spécifiques en coopération avec les groupes extérieurs de la molécule protéique et réduisent la quantité des molécules d'eau, qui sont en compétition sur les liaisons hydrogènes à l'intérieur de la protéine ainsi en éliminant l'eau. Il est connu que le saccharose est un sucre non réducteur, à des températures élevées, la liaison glycosidique du saccharose est hydrolysée en libérant deux monosaccharides, contribuant à la réaction de Maillard, mais son rôle est peu important par rapport aux sucres réducteurs.

### **II.3.4. Impact des polyphénols sur le PRE des gels**

Les résultats de PRE des gels du blanc d'œuf obtenus à (86,89 et 92°C)/30min, additionnés de quercétine, acide tannique et acide gallique aux concentrations 0,1 et 0,5% sont résumés dans l'annexe 2 et illustrés dans la figure ci -dessous:





**Figure 12 :** Effet des polyphénols sur le PRE des gels du blanc d'œuf. (a) : à 86°C, (b) : à 89°C, (c) : à 92°C. S.A : sans additifs.

Les résultats de la figure 12, montrent que les PRE des gels sans polyphénols sont supérieurs comparés à ceux additionnés de polyphénols (acide gallique, acide tannique et quercétine), et cela pour toutes les températures: 86, 89 et 92°C.

#### a) A température 86°C

L'analyse statistique (test de Student) révèle que, les différences entre les deux concentrations (0,1 et 0,5%) sont significatives ( $p < 0,05$ ).

La figure 12 a, montre qu'à 0,1% d'acide tannique, on obtient le PRE le plus élevé ( $584 \pm 33,94$ ) g/Kg, suivi de la quercétine ( $564 \pm 5,65$ ) g/Kg, et enfin de l'acide gallique ( $552$ ) g/Kg, alors qu'à 0,5%, le PRE le plus élevé est obtenu avec la quercétine ( $544 \pm 22,62$ ) g/Kg, suivi de l'acide gallique ( $512 \pm 11,31$ ) g/Kg, et de l'acide tannique ( $508 \pm 90,50$ ) g/Kg. Donc, plus on ajoute les polyphénols (de 0,1 à 0,5%), plus le PRE du gel diminue.

**b) A température 89°C**

L'analyse statistique (Test de Student) révèle que, les différences entre les deux concentrations (0,1 et 0,5%) sont significatives ( $p < 0,05$ ).

La figure 12 b, montre que le PRE des gels obtenus à 89°C, augmente en passant de la concentration 0,1 à 0,5% pour les trois polyphénols utilisés. L'ordre décroissant de PRE des gels, aux concentrations 0,1% à 0,5%, respectivement est: l'acide tannique ( $580 \pm 16,97$ ) g/Kg, ( $588 \pm 16,97$ ) g/Kg, suivi de la quercétine ( $552 \pm 11,31$ ) g/Kg, ( $588 \pm 5,65$ ) g/Kg, et l'acide gallique ( $456 \pm 11,31$ ) g/Kg, ( $468 \pm 16,97$ ) g/Kg.

**c) A température 92°C**

L'analyse statistique (Test de Student) révèle que, les différences entre les deux concentrations (0,1 et 0,5%) sont significatives ( $p < 0,05$ ).

La figure 12 c, montre que le PRE des gels obtenus à 92°C, augmentent considérablement en passant de la concentration 0,1 à 0,5% et cela pour les trois polyphénols étudiés. L'ordre décroissant des PRE des gels additionnés des polyphénols est le suivant: la quercétine ( $532 \pm 11,31$ ) g/Kg, ( $584 \pm 5,65$ ) g/Kg, suivi de l'acide tannique ( $464$ ) g/Kg, ( $544 \pm 22,62$ ) g/Kg et de l'acide gallique ( $464 \pm 33,94$ ) g/Kg, ( $504 \pm 11,31$ ) g/Kg pour les concentrations 0,1 et 0,5% respectivement. Ces résultats peuvent être expliqués par les différentes affinités des composés phénoliques à complexer les protéines du blanc d'œufs sous l'effet de la chaleur, et que ces composés favorisent l'agrégation de ces protéines en formant des coagulum, qui laissent échapper l'eau, d'où le PRE qui diminue comparé aux gels sans polyphénols et qu'aux températures 89 et 92°C le PRE augmente en augmentant la concentration des polyphénols, alors qu'à 86°C le PRE diminue en passant de la concentration 0,1 à 0,5%.

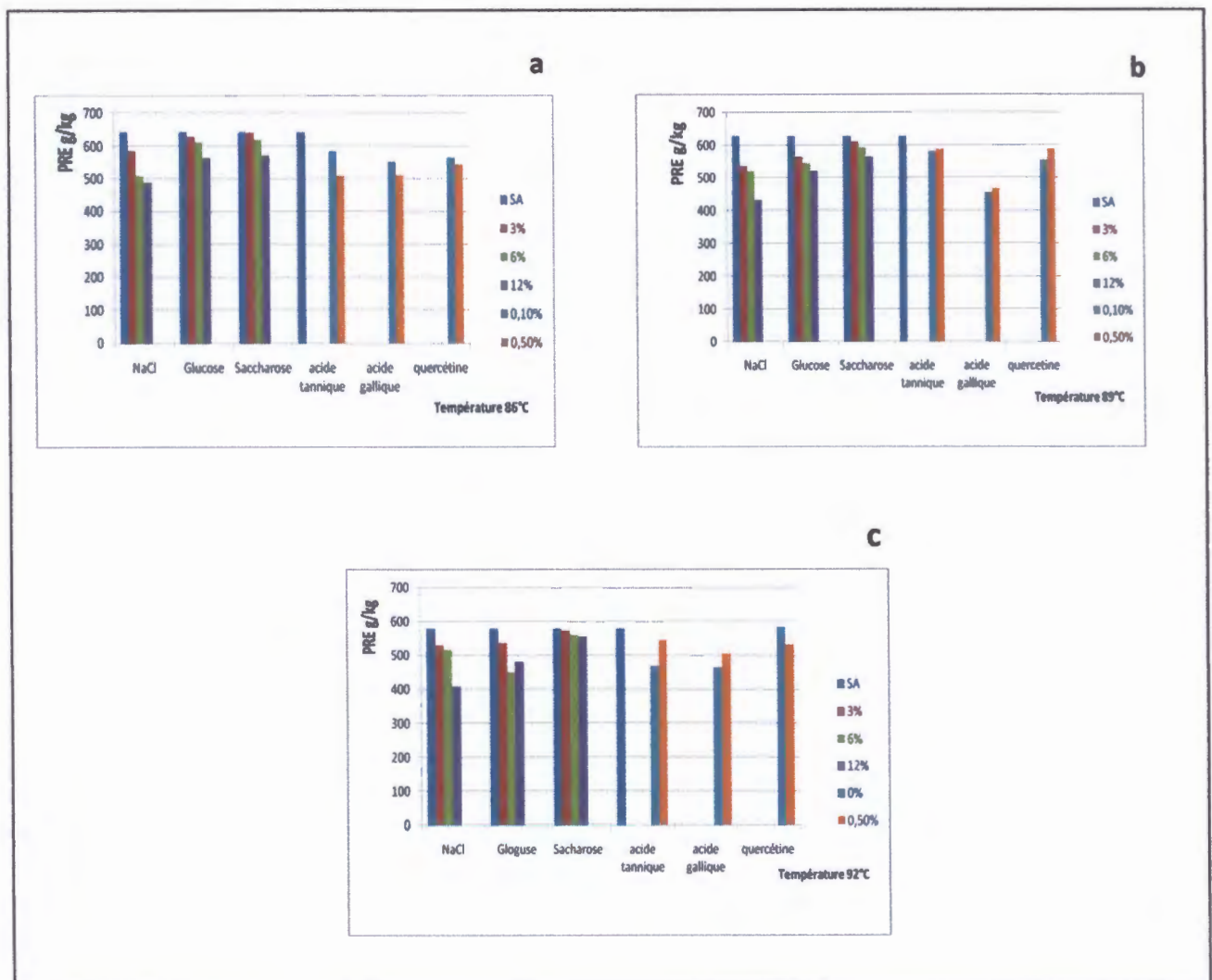
Selon Viljanen (2005); Prigent *et al.*, (2005) et Ozdal *et al.*(2013), la présence de composés phénoliques affecte la solubilité des protéines, qui est un facteur important dans leurs fonctionnalités. En général, l'augmentation de la concentration en polyphénols favorise la formation des agrégats insolubles de polyphénol-protéine, ce qui contribue à la formation d'une mono couche, diminuant ainsi leur caractère hydrophile, et le caractère hydrophobe du complexe augmente, ce qui empêche la fixation d'eau, donc le PRE du gel protéique diminue.

Ozidal *et al.*(2013) et Jakobek (2014), rapportent des contradictions au sujet de l'effet de la température sur l'affinité des polyphénols aux protéines.



**IL3.5. Comparaison de l'effet entre NaCl, glucose, saccharose, saccharose, acide gallique, acide tannique et la quercétine sur le PRE des gels du blanc d'œuf**

Les résultats de PRE des gels du blanc d'œuf obtenus à (86,89 et 92°C)/30min, additionnés des additifs aux concentrations 3, 6 et 12% et de polyphénols aux concentrations 0,1 et 0,5% sont résumés dans l'annexe 2 et illustrés dans la figure ci -dessous:



**Figure 13:** Effet de NaCl, glucose, saccharose, acide tannique, acide gallique et quercétine sur le PRE des gels de blanc d'oeuf. (a) : 86C, (b), 89°C, (c) : 92°C. SA: sans additifs

Selon la figure 13, on constate que les gels sans additifs possèdent des valeurs de PRE supérieures à celles obtenues en ajoutant différents additifs (NaCl, glucose, saccharose, acide tannique, acide gallique et quercétine).

À température 86°C (figure 13 a), le gel additionné de saccharose à (3%), possède le PRE le plus élevé égale à:  $(640 \pm 11,31)$  g/Kg. Alors que le NaCl à concentration 12%, donne la valeur de PRE la plus basse, égale à  $(488 \pm 31,11)$  g/Kg. Les gels additionnés des polyphénols et de glucose montrent des valeurs intermédiaires.

À température 89°C (figure 13b), le saccharose à concentration 3% possède toujours la valeur de PRE la plus haute, (608) g/Kg, tandis que le NaCl possède la valeur de PRE la plus basse  $(432 \pm 31,11)$  g/Kg. Les polyphénols aux deux concentrations (0,1 et 0,5%) et le glucose, présentent des valeurs intermédiaires.

Pour les gels obtenus à 92°C (figure 13 c), les valeurs de PRE les plus élevées sont notées pour la quercétine à (0,5%), elle est égale à  $(584 \pm 5,65)$  g/Kg, alors que la valeur la plus basse est celle de NaCl (408) g/Kg à la concentration 12%.

D'après ces résultats, on peut dire que le NaCl est l'additif le plus influant sur le PRE du gel du blanc d'œuf, il l'abaisse de manière importante et cela plus que sa concentration augmente et la température de gélification augmente.



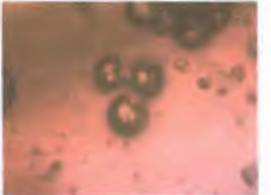
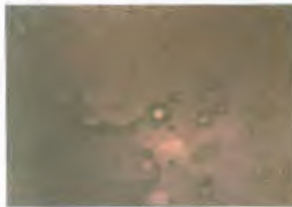
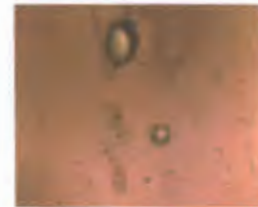




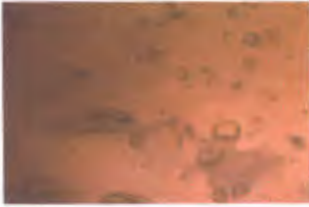

Nafchi *et al.* (2013), proposent que l'augmentation de la température en présence de NaCl conduit à la formation des agrégats non organisés, donc les protéines s'associent aléatoirement, et le gel formé devient plus ferme, retient moins d'eau.

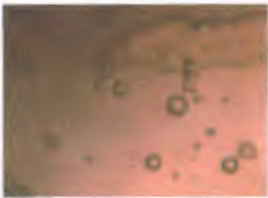

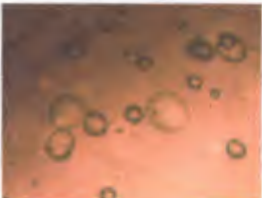
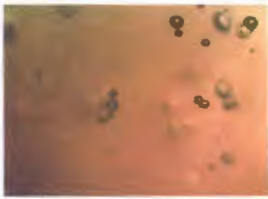





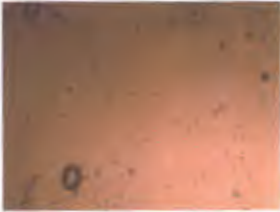
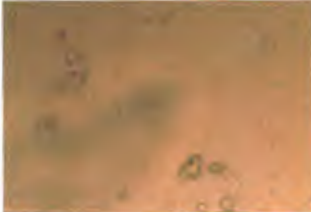



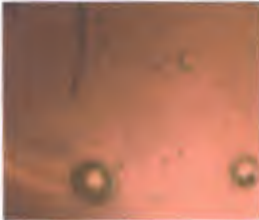

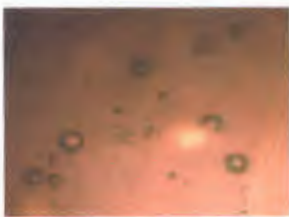

### **III. Microstructure des gels du blanc d'œuf**

Les photos prises par un microscope à caméra des gels du blanc d'œuf sans ou avec additifs alimentaires à différentes concentrations et températures sont présentées dans le tableau suivant :


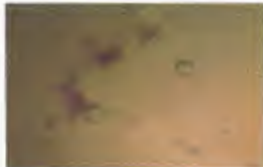



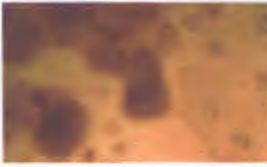








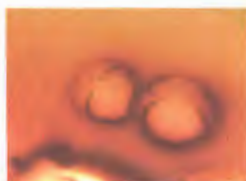


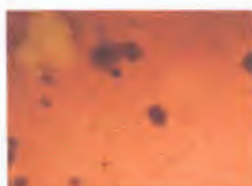


**Tableau IV:** Photos des gels du blanc d'œufs additionnés ou non d'additifs alimentaires à différentes concentrations et températures par microscope à caméra.

Temperature °C/30 min Additifs alimentaires	86 °C	89°C	92°C
	Sans additif		
NaCl 3%			
6%			
12%			

<b>Glucose</b>			
<b>3%</b>			
<b>6%</b>			
<b>12%</b>			
<b>Saccharose</b>			
<b>3%</b>			
<b>6%</b>			
<b>12%</b>			

## Etude Expérimentale

<b>Acide tannique</b> 0,1%			
			
<b>Acide gallique</b> 0,1%			
			
<b>Quercétine</b> 0,1%			
			

Pour relier les propriétés rhéologiques à la structure microscopique des gels du blanc d'œuf préparés précédemment, on a fait une visualisation microscopique de leur structure interne à l'aide d'un microscope à camera.

L'étude des photos prises, a mis en évidence des différences au niveau de la microstructure des gels préparés à partir de blanc d'œuf additionné ou non d'additifs alimentaires (NaCl, glucose et saccharose à 3,6 et 12%) et (l'acide tannique, acide gallique et quercétine à 0,1 et 0,5%).



Les résultats obtenus montrent que, la microstructure du gel du blanc d'œuf dépend de plusieurs facteurs, dont la concentration, le type d'additif ajouté et la température de la gélification.

D'après le tableau IV, on distingue des différences concernant l'uniformité, la présence des pores de diamètres différents et la présence ou pas de cristaux. Le nombre des pores dans le gel diminue lors de l'addition de tous types d'additifs et avec l'augmentation de la température.

Pour les gels obtenus à 86, 89, 92°C, sans additifs, on remarque la présence de pores de diamètres différents, leur nombre diminue au fur et à mesure que la température augmente.

Pour les gels additionnés de NaCl, on constate que le nombre de pores diminue avec l'augmentation de la température et de la concentration en NaCl.

En ce qui concerne les gels additionnés de glucose, on constate l'absence totale des pores et la présence de cristaux de glucose à partir de la concentration 12%, expliquée par la sursaturation du gel.

Concernant la microstructure du gel additionné de saccharose à différentes concentrations, et températures, on remarque, que celle-ci présente une structure presque similaire à celle des gels sans additifs, avec la présence de quelques pores, mais de diamètre inférieur.

Les gels additionnés de polyphénols semblent complètement différents de ceux ajoutés de glucose, saccharose et de NaCl concernant la couleur. Pour l'acide tannique le gel prend une couleur jaune claire, celui additionné de l'acide gallique prend une couleur verte, et le gel de la quercétine prend la teinte orange. Ces gels présentent quelques pores de diamètre moyen, présence de quelques granules (ou des taches) de diamètres différents, correspondant aux polyphénols non solubilisés.

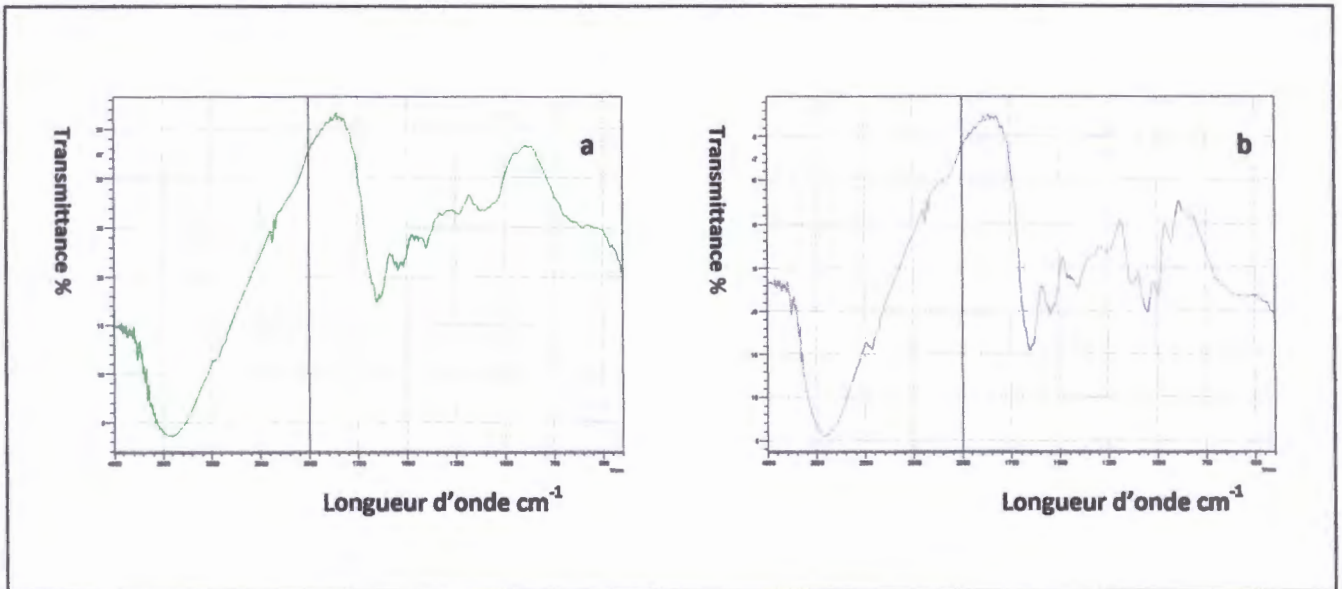
Selon Nicorescu (2009), la taille et le nombre des pores du gel de blanc d'œuf diminuent en augmentant la température du traitement.

Selon Raccosta *et al.* (2010), la structure et la morphologie des agrégats, de lysozyme observés par microscope optique, formés après incubation à 81°C, apparaissent sous formes d'agrégats typiques regroupés en petites unités, de large taille allant de quelques dizaines à des centaines de micromètres. Cette hétérogénéité est un résultat de la cinétique de coagulation du blanc d'œuf.

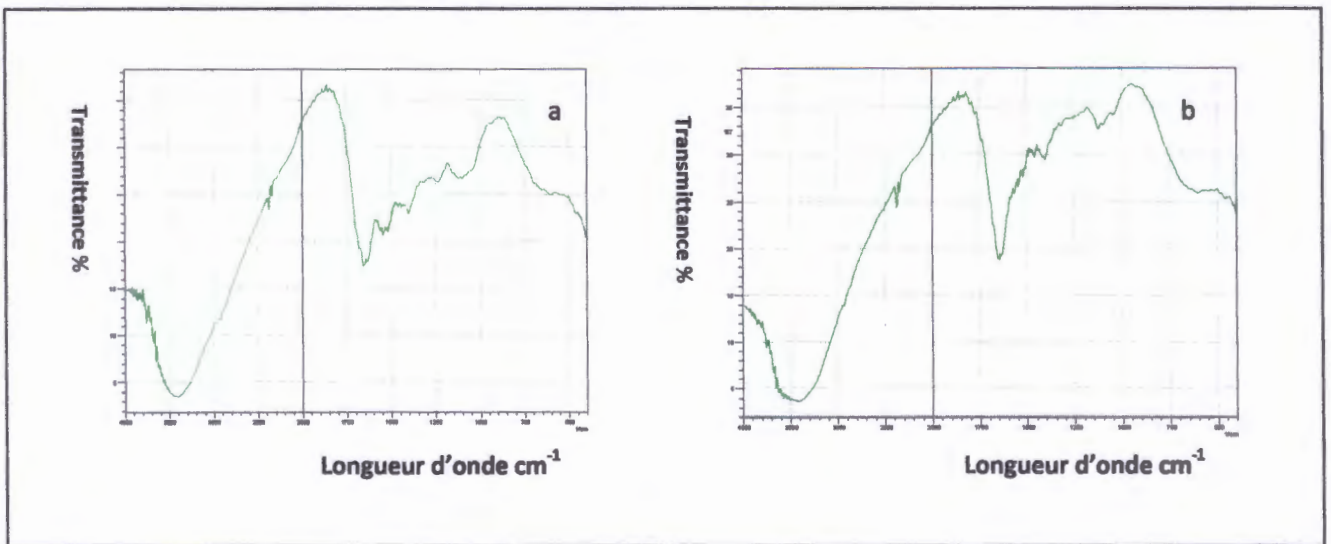
#### **IV. Spectres infrarouge des gels de blanc d'œuf**

Les spectres infrarouge des gels du blanc d'œuf obtenus à 92°C / 30min, additionnés ou non d'additifs (NaCl, glucose et saccharose) à 12% et de polyphénols à 0,1 et à 0,5% (quercétine, acide

gallique et acide tannique) (annexe 4), donnés par transmittance (T%) en fonction de nombre d'onde entre 4000 et 400  $\text{cm}^{-1}$  sont illustrés dans les figures suivantes:



**Figure 14:** Spectres infrarouge des gels du blanc d'œuf obtenus à 92°C/ 30min (a): sans additifs, (b) : NaCl (12%)



**Figure 15 :** Spectres infrarouge des gels du blanc d'œuf obtenus à 92°C/ 30min (a) : sans additifs, (b): glucose (12%)

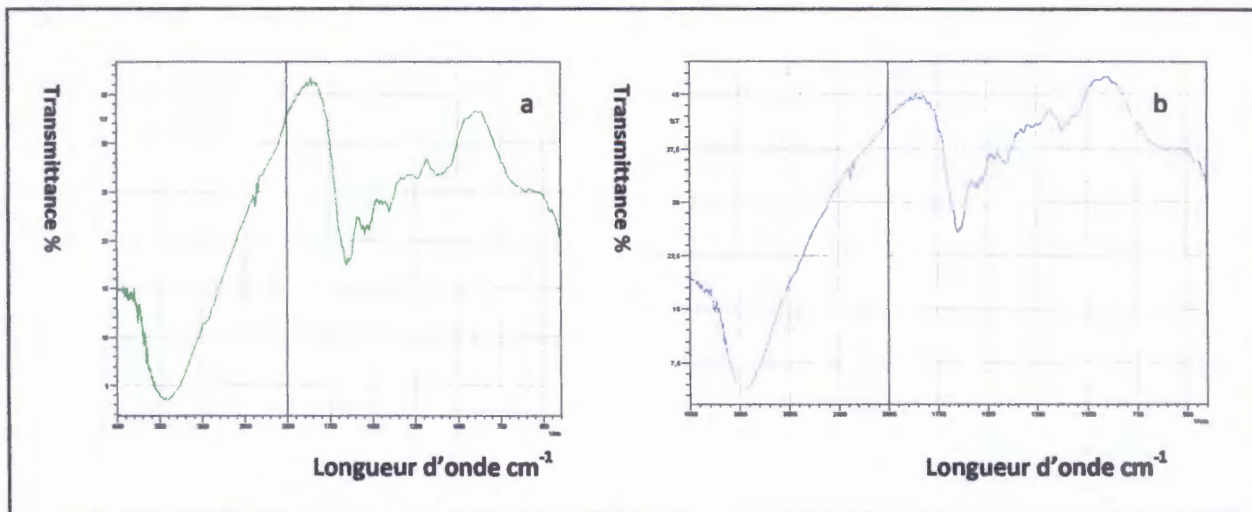


Figure 16: Spectres infrarouge des gels de blanc d'œuf obtenus à 92°C/ 30min. (a) : sans additifs, (b) : saccharose (12%).

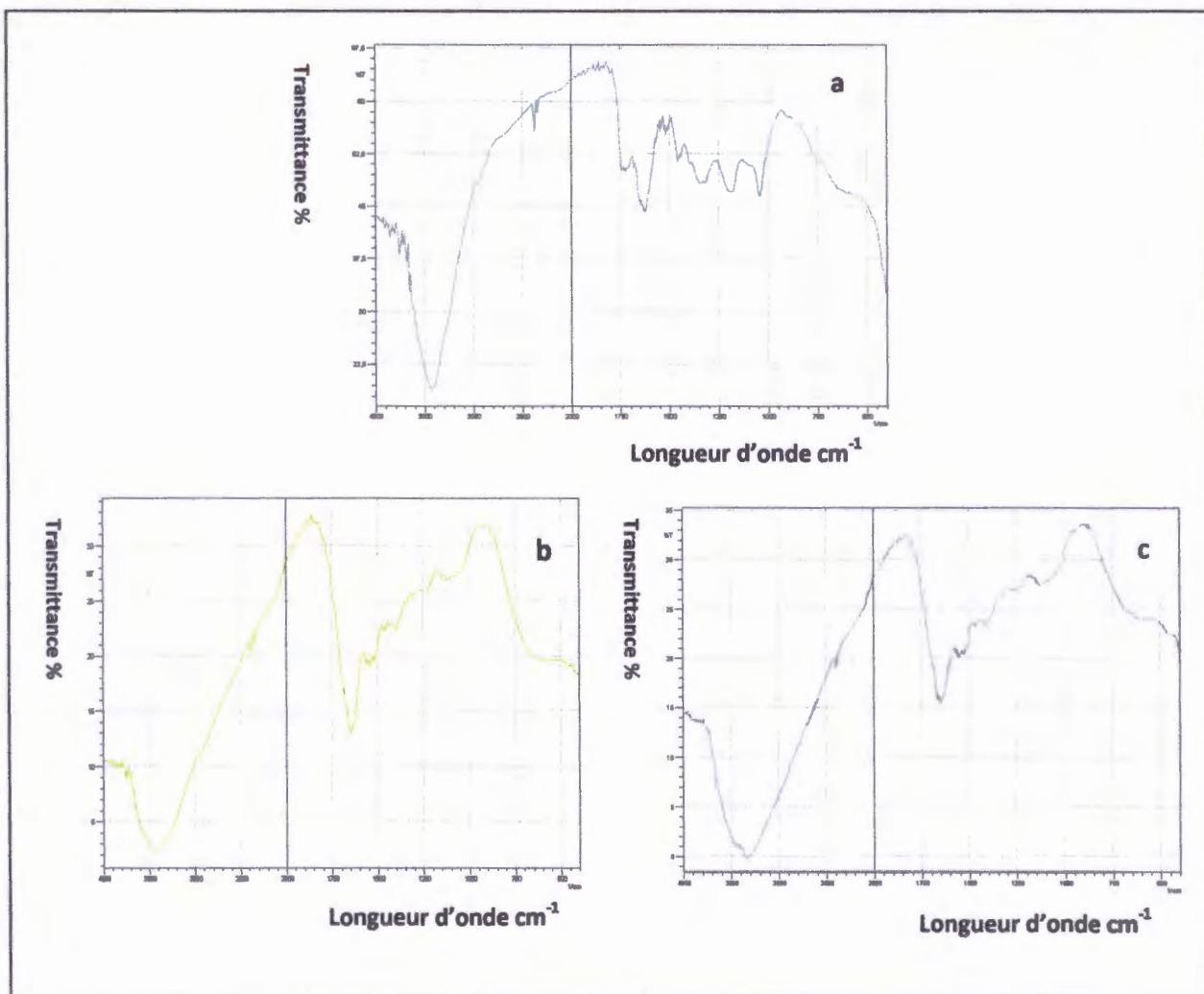
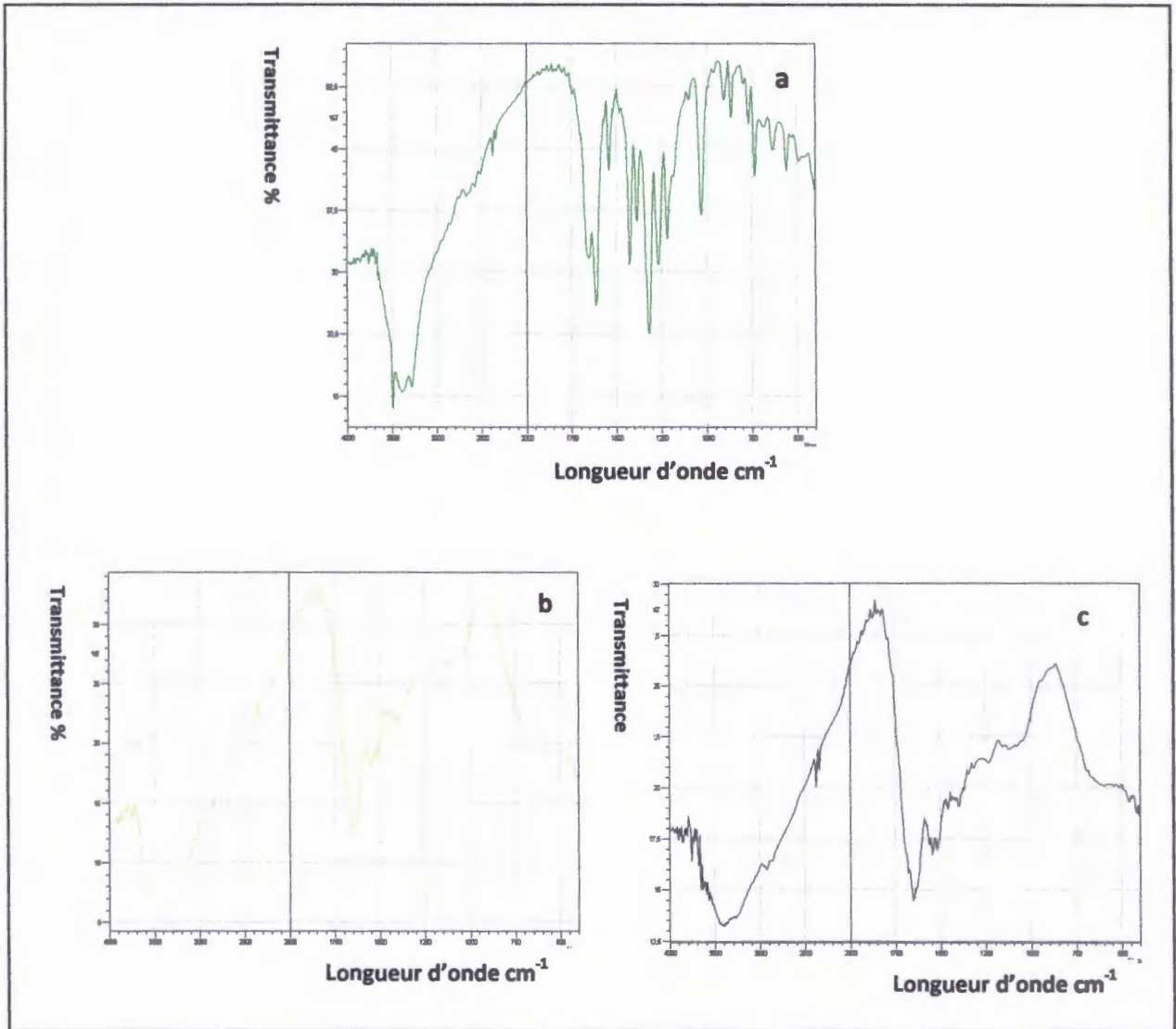
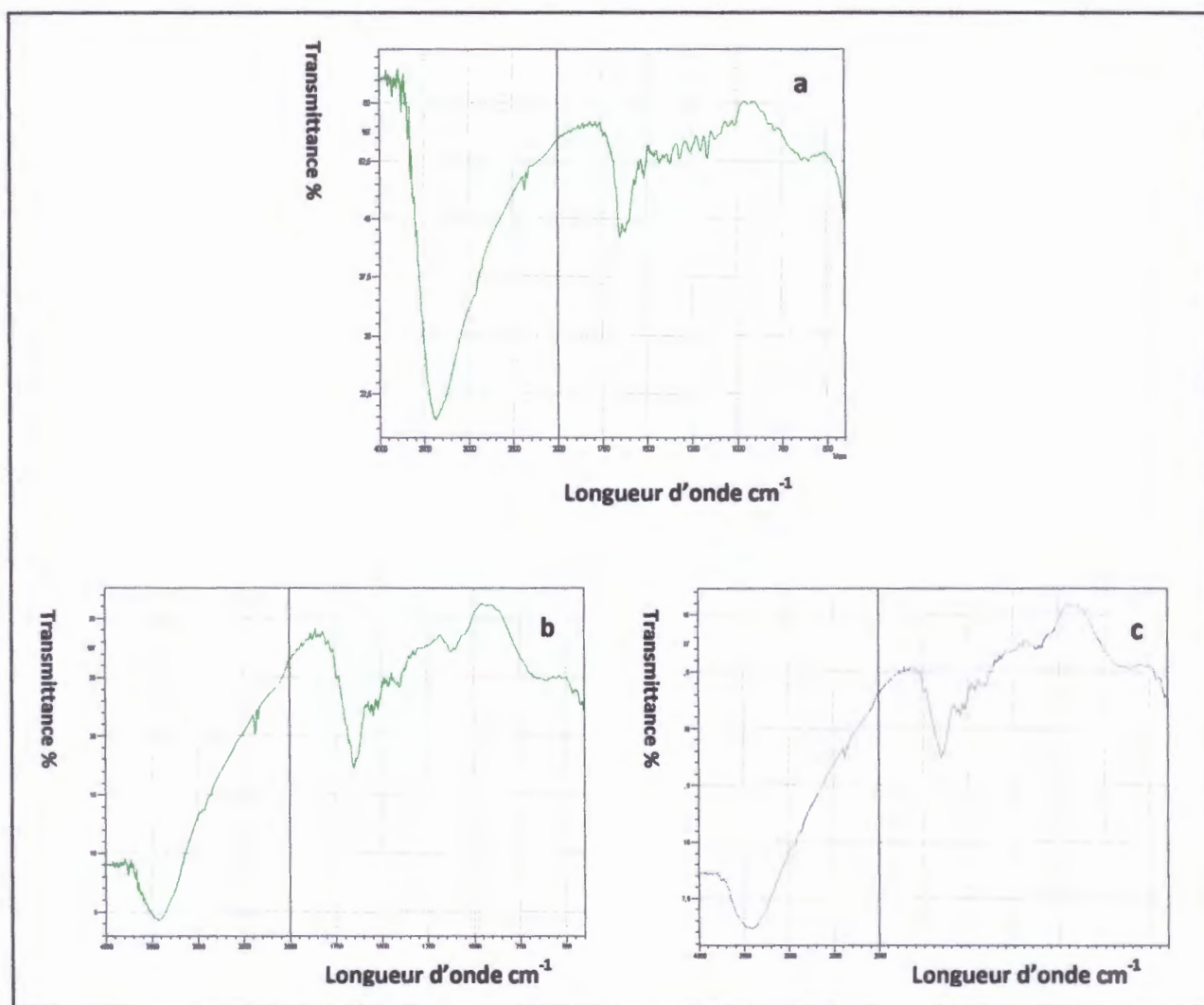


Figure 17: Spectres infrarouge des gels du blanc d'œuf obtenus à 92°C/ 30min. (a) : acide tannique pure, (b) : blanc d'œuf additionné d'acide tannique 0,1%, (c): blanc d'œuf additionné d'acide tannique 0,5%





**Figure 18** : Spectres infrarouge des gels du blanc d'œuf obtenus à 92°C/ 30min, (a) : acide gallique pure, (b) : blanc d'œuf additionné d'acide gallique 0,1%, (c) : blanc d'œuf additionné d'acide gallique 0,5%.



**Figure 19** : Spectres infrarouge des gels du blanc d'œuf obtenus à 92°C/ 30min .

(a) : quercétine pure, (b): blanc d'œuf additionné de quercétrine 0,1%, (c): blanc d'œuf additionné de quercétine 0,5%.

En analysant les spectres d'IR des gels du blanc d'œuf sans additifs, on a pu identifier la présence d'une bande fondamentale large qui se situe dans l'intervalle (3600-3100  $\text{cm}^{-1}$ ) et comme le blanc d'œuf est un mélange de différentes protéines, on peut les rapporter aux liaisons suivantes (Annexe 3):

Liaison O-H libre (3500-3100)  $\text{cm}^{-1}$  correspond probablement à un alcool libre, liaison O-H associée (alcool ou phénols), d'une liaison C-H aliphatique, liaison N-H (3500-3410)  $\text{cm}^{-1}$  indiquant la présence d'une amine primaire, et liaison C-H (3300)  $\text{cm}^{-1}$ .

Pour le spectre du NaCl et du saccharose (figure 14 et 16), la bande fondamentale devient moins large que celle du gel sans additifs, elle se situe dans l'intervalle de  $(3600-3300) \text{ cm}^{-1}$ , par conséquent le nombre des fonctions déterminées serait moindre. On peut l'attribuer probablement à une liaison O-H d'un alcool libre, liaison O-H d'un alcool lié, ou à une liaison N-H d'une amine primaire ou d'un amide secondaire

On a aussi remarqué la présence d'un pic  $(2900) \text{ cm}^{-1}$ , il correspond à une liaison C-H aldéhyde. Dans le cas des spectres IR du gel additionné de glucose (figure 15), se diffère du spectre de saccharose seul par la largeur de la bande qui s'étend de  $(3700-3200) \text{ cm}^{-1}$ .

Dans les cas précédents (figure 14,15 et 16), ces spectres ont un point commun qui est la présence d'un pic de faible intensité  $(2500-2000) \text{ cm}^{-1}$ , il correspond à une liaison  $\text{C}\equiv\text{C}$  qui reflète la présence d'un alcyne.

Les figures (17, 18 et 19) représentent les différents spectres de gel du blanc d'œuf additionné de polyphénols (concentration 0,1% et 0,5%) à température  $92^\circ\text{C}$ .

D'après le spectre d'IR d'acide tannique pur, on remarque la présence d'un pic intense à  $3400 \text{ cm}^{-1}$ , il correspond à une liaison O-H libre d'un phénol ou d'alcool; lorsque on le compare avec celui du gel additionné d'acide tannique 0,1 % (figure 17), on remarque une différence dans la présence d'une bande large et fondamentale dans l'intervalle  $(3100-3600) \text{ cm}^{-1}$ , par contre en augmentant la concentration à 0,5% en acide tannique, le spectre ressemble beaucoup plus à celui de l'acide tannique pur, le point de similitude entre eux est la présence d'une liaison  $\text{C}\equiv\text{C}$   $(2500-2000) \text{ cm}^{-1}$ , qui correspond à un alcyne.

Le spectre d'IR de l'acide gallique (figure 18) montre une différence dans le type des liaisons existantes, cela est dû à la différence au niveau de leur structure. Dans ce cas on note la présence d'un pic principal correspondant à une liaison O-H libre d'un acide  $(3500) \text{ cm}^{-1}$ .

A partir de la figure 19, qui représente le spectre d'IR de la quercétine, on peut noter la présence d'un pic intense situé dans l'intervalle  $(3500-3200) \text{ cm}^{-1}$ , il correspond à une liaison O-H libre probablement d'un phénol. Pour la quercétine additionnée au blanc d'œuf, on constate que les deux spectres des deux concentrations (0,1 et 0,5 %) sont semblables, mais ils diffèrent de ceux de la quercétine par la présence d'une bande moins large  $(3600-3200) \text{ cm}^{-1}$ , elle est probablement due à la présence des liaisons suivantes : O-H libre, O-H lié à un phénol, N-H d'un amide I ou II, O-H associée, C-H d'un alcyne.

Les trois spectres (figure 17, 18 et 19) ont un point de similitude, qui est la présence d'un pic qui s'étend entre  $(2500-2000) \text{ cm}^{-1}$ , qui pourrait correspondre à une liaison  $\text{C}\equiv\text{C}$  d'un alcyne.



# Conclusion

Du fait de ses nombreuses propriétés fonctionnelles, le blanc d'œuf est un ingrédient alimentaire largement utilisé dans l'industrie agro-alimentaire. C'est un liquide visqueux, transparent qui, après le chauffage, se transforme en un gel, blanc opaque. Par son aptitude à se gélifier durant le chauffage, il est devenu un ingrédient incontournable dans la confection de nombreux produits alimentaires. Cependant, il se trouve de plus en plus concurrencé par des ingrédients fonctionnels d'origine animale, végétale ou microbienne plus stables physiquement, et/ ou microbiologiquement et de coût moindre.

L'industrie des ovoproduits s'est donc impliquée dans la recherche de traitements technologiques ou de conditions physico-chimiques, qui permettent d'améliorer la stabilité et la fonctionnalité de ses produits.

Dans le but d'étudier ces propriétés techno-fonctionnelles, particulièrement l'aptitude à la thermogélification en ajoutant différents additifs alimentaires ( NaCl, glucose, saccharose, acide tannique, acide gallique et quercétine) à différents concentrations, le présent travail est basé sur l'étude de quelques paramètres du gel de blanc d'œuf, dont le PRE, sa microstructure et une analyse infrarouge.

Nos résultats montrent que l'ajout des additifs alimentaires aux blanc d'œuf avant la gélification, conduit à l'obtention des gels dont les PRE sont inférieurs comparé aux gels sans additifs. Les pertes d'eau de ces gels provoquées par l'addition de ces différents additifs sont dans l'ordre croissant suivant: NaCl, glucose, saccharose, acide tannique, acide gallique et quercétine.

Aussi, plus la concentration de chaque additif utilisé augmente, plus le gel obtenu sera plus ferme et donc son PRE diminue. Concernant la température de gélification plus elle augmente, plus le PRE du gel obtenu diminue.

La microstructure des gels de blanc d'œuf dépend de plusieurs facteurs, dont la concentration, le type d'additif ajouté et la température de la gélification. Le diamètre et le nombre des pores des gels additionnés de saccharose, de glucose, et de NaCl varient, en fonction de la concentration et de la température de gélification. Dans le cas des gels additionnés des polyphénols le nombre des pores est réduit comparés à ceux sans additifs et prennent différentes couleurs selon le composé ajouté.

L'analyse des spectres infrarouges des gels obtenus à 92°C/30min additionnés ou non de différents additifs alimentaires à 12% ( saccharose, glucose et NaCl) et de composés phénoliques à 0,1 et à 0,5% (acide tannique ,acide gallique et quercétine), révèle la présence de différentes liaisons chimiques spécifiques pour chaque type de gel.

Afin de mieux étudier le pouvoir gélifiant du blanc d'œuf, il serait souhaitable d'approfondir cette étude en variant d'autres paramètres physico-chimiques tels que le pH, et d'appliquer des techniques ou méthodes permettant d'étudier la rhéologie des gels de blanc d'œuf (rhéomètre, texturomètre, pénétromètre, viscosimètre....) et leur structure interne (microscope à balayage).



# Références

---

## *Références bibliographiques*

---

### **A**

- Abeyrathne E-D-N-S., Lee H-Y., Ahn D-U. Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents. *Poult. Sci.*, 2013. vol.92, 3292–3299.
  
- Aguilera J-M., Rademacher B. Protein gels. In: *Proteins in food processing*. Edited by Yada R-Y. Boca Raton Boston New York Washington, D.C. Wood head Publishing, 2004. P.481-490.
  
- Alamprese C., Casiraghi E., Rossi M. Foaming, gelling and rheological properties of egg albumen as affected by the housing system and the age of laying hens. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2012, vol.47,1411–1420.
  
- Alleoni A-C-C. Albumen protein and functional properties of gelation and foaming. *J. Sci. Agric.*, 2006, Vol.63, 291-298.
  
- Anton M., Croguennec T., Desfougères Y., Lechevalier V. L'œuf ingrédient alimentaire. In: *Science et technologie de l'œuf*. Edited by Multon J-L. Edition Tec& Doc, Paris: Lavoisier, 2010. 350-449 p. Collection science et technique agroalimentaire, ISBN 978-2-7430-1224-3.
  
- Aprodu I., Ionescu A., Vasil A., Zara M., Gurău G. La rhéologie des gels à base d'isolat de protéines de petits pois modifiés enzymatiquement avec transglutaminase bactérienne. *Int J. Sci. Res.*, 2008, Vol. 3,345-356.
  
- Audigié C., Figarella J., Zonszain F. Manipulation d'analyse biochimique .Collection publié sous la direction d'Albert. OBRE et René BUTTIAUX. 1984, 1-274 p. ISBN 2-7040-0428-5.

### **B**

- Bedrani L. Modulation de l'immunité innée moléculaire de l'œuf. Thèse de doctorat: Université François Rabelais de tours. 2013. 108 p.
  
- Bennick A. Interaction of plant polyphenols with salivary proteins. *J. Crit. Rev. Oral. Biol. Med.*, 2002, Vol.13 (2), 184-196.
  
- Bircan. C et Barringer S-A. Use of properties to detect egg protein denaturation. *J. Mic. Electro. Eng.*, 2002, Vol.37, 89-96.

-Berlutti F., Grazia M., Superti F. Ovotransferrin. In: Bioactive Egg Compound. Edited by Anton M., Huopalahti R., Lopez-Fandino R., Schade R. Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 2007. p 43-48. ISBN-13: 978-3-540-37883-9.

-Bologa M., Albu A., Pop I-M. Research on chemical composition of chicken egg from different systems of production (conventional and organic). *Lucrari Stiintifice-Seria Zootehnie*, 2013, vol.59, 80-85.

-Boutin C. Propriétés émulsifiantes et gélifiantes des protéines sériques polymérisées - Application dans la fabrication de yogourts. Thèse de doctorat: Université Laval. 2000. 103 p.

## C

-Chay Pak Ting B. Development of antioxidant peptide fractions from egg yolk proteins using enzymatic hydrolysis and ultrafiltration membranes. Thèse de doctorat: Université Laval. Québec. 2012. 142 p.

- Codex alimentarius, 1997.

-Croguennec T., Guérin-Dubiard C., Lechevalier V., Nau F. Ovalbumin and Gene-Related Proteins. In: Bioactive Egg Compound. Edited by Anton M., Huopalahti R., Lopez-Fandino R., Schade R., Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 2007. P 51-57. ISBN-13: 978-3-540-37883-9.

## D

-Daduang S., Shawsuan L. et Thammasirirak S. Comparative study of reptile egg white proteins by 2d-page. *Kmitl Sci. Tech. J.*, 2007, Vol.7, 127-136.

-Damodaran S et Anand K. Sulfhydryl-Disulfide interchange-Induced interparticle protein polymerization in whey protein-stabilized emulsions and its relation to emulsion stability. *J. Agric. Food Chem.*, 1997, Vol.45 (10), 3813-3820.

-De Souza P-M., Fernández A. Rheological properties and protein quality of UV-C processed liquid egg products. *Food Hyd.*, 2013, vol. 31, 127-134.

-Donato L. Gélification et séparation de phase dans les mélanges protéines globulaires/pectines faiblement méthylées selon les conditions ioniques. Thèse de doctorat : école nationale supérieure des industries agricoles et alimentaire. Paris, 2004. 313 p



-Dumas C., Carine S., Odile B. Apport en protéine: consommation, qualité, besoins et recommandations. Thèse de doctorat. 2007.

-Dupin H., Malewiak C-J-L., Leynaud-Rouad C., Berthiet A-M. Alimentation et nutrition humaines. Paris: ESF éditeur, 1992. 1533 p. ISBN 2.7101.0892.5

## **F**

-Fredot I. Connaissance des aliments. Edition TEC et Doc. Paris : Lavoisier, 2005. p135-136. ISBN 2-7430-0810-5.

## **G**

-Gaaloul S. Étude de la gélification et de l'incompatibilité thermodynamique de mélanges de protéines de lactosérum/kapp a-carraghénane sous cisaillement. Thèse de doctorat: Université de Laval. Québec. 2009. 215 p.

-Gossett P-W., Baker R-C., Rizvi S-S-H. Quantitative analysis of gelation in egg protein systems. Food Technol., 1984, Vol.38, 67-96.

- Gauthier F. Contribution à l'étude de l'adsorption de protéines aux interfaces. Thèse de doctorat: Université Joseph Fourier, 2000.156 p.

- Guérin-Dubiard C-M., Gautron J., Nys Y., Nau F. Composition de l'œuf. In: science et technologie de l'œuf. Edited by Multon J-L. Paris : Lavoisier, 2010. p1-211. Collection science et technique agroalimentaire, 2 ISBN 978-2-7430-1224-3.

-Guéwoul-Guèdè A-K. Etude de la structure des gels protéiques par Microscopie confocale. Thèse de doctorat: Université du Maine, 2010.114p.

-Gummel J. Structures et mécanismes de formation de complexes polyélectrolytes-protéine. Thèse de doctorat: Université Dorsay. Paris.2006. 228 p.

## **H**

-Hajiduon H-A., Jafarpour A., Rezaie M-A. Comparative study on effect of egg white, soy protein isolate and potato starch on functional properties of common carp (Cyprinus carpio) surimi gel. J. Food Pro. Techol., 2012, Vol.3,1-6.

- Hiidenhovi J. Isolation and Characterization of Ovomucin a Bioactive Agent of Egg White. Thèse de doctorat: University of Turku. 2015. 79 p.

-Hoppe A. Examination of egg white proteins and effects of high pressure on select physical and functional properties. These de magister: University of Nebraska . Lincoln. 2010.103 p.

-HuiY-H., Wiley J et Sons. Bakery Products: Science and Technology. Blakwell, 2008. 586 p.

## J

-Jakobek L. Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. Food Chem., 2014, Vol.175, 556-567.

## K

- Kamana O. Contribution à l'étude de l'évolution des œufs de consommation en fonction des conditions de stockage. Mémoire de diplôme d'études approfondies de productions animales: Université Cheikh Anta Diop. Dakar. 2007. 32 p.

- Kannan S-R-S., Dev Y., Raghavan V-G-S. Effect of radiofrequency heating on the dielectric and physical properties of eggs. Prog. Electro. Mag. Res., 2013, Vol.51, 201-220.

-Kaewmanee T., Benjakul S., Visessanguan W. Effect of NaCl on thermal aggregation of egg white proteins from duck egg. Food Chem., 2010. Vol.125 (2011), 706–712.

- Kijowski J., Lesnierowski G. Lysozyme. In: Bioactive Egg Compound. Edited by Anton M., Huopalahti R., Lopez-Fandino R., Schade R. Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 2007. p33-40 ISBN-13: 978-3-540-37883-9.

## L

-Lechevalier V. Cisaillements, création d'interfaces et traitements thermiques : effet sur la dénaturation des protéines du blanc d'œuf et leurs propriétés fonctionnelles. Thèse de Doctorat: Ecole doctorale Vie-Agro-Santé. Paris. 2005.351 p.

- Liu J., Zhu K., Ye T., Wan S., Wang Y., Wang D., Li B., Wang C. Influence of konjacglucomannan on gelling properties and water state in egg white protein gel. Int. J. Food Res ., 2013, Vol.5, 437–443.

-Livre Blanc Spectroscopie Infrarouge :Un guide pour tout savoir sur la spectroscopie Infrarouge. Shimadzu France 2015.

-Lomakina K., Míková K. A study of the factors affecting the foaming properties of egg white. Czech. J. Food Sci., 2006, Vol.24, 110-118.

## M

- Machado F-F., Coimbra J-S-R., Rojas E-E-G., Minin L-A., Oliveira F-C., Sousa R-D. Solubility and density of egg white proteins: Effect of pH and saline concentration. Food Sci.Technol., 2007, Vol.40, 1304–1307.
- Marie P. Biominéralisation de la coquille d'œuf de poule: caractérisation des protéines de la matrice organique impliquée dans l'initiation de la minéralisation. Thèse de Doctorat: Université François-Rabelais de Tours. 2015. 208 p.
- Messier P. Protein chemistry of albumen photographs. Top. Photog. Pres., 1991, vol.4, 124-135.
- Mine Y. Egg bioscience and biotechnology. United States of America: Wiley-Interscience, 2008. p 26. ISBN 978-0-470-03998-4.
- Miguel M., Lopez-Fandio R. Ramos M. Comparative study of egg white proteins from different species by chromatographic and electrophoretic methods. Eur. Food Res.Technol., 2005, Vol.221, 542–546.

## N

- Nafchi A-M., Karim A-A., Pashania B., Rajabi H-Z., Tabatabaei R-H. Effects of ascorbic acid and sugars on solubility, thermal, and mechanical properties of egg white protein gels. Int. J. Biol. Macromol., 2013, Vol.62, 397-404.
- Nafti Y. Cours de biochimie alimentaire, option C.Q.A, Université de Djelfa: Biohay, 2006: viandes et poissons, p39-40.
- Nau F., Nys Y., Yamakawa Y., Rehault-Godbert S. Intérêt nutritionnel de l'œuf en alimentation humaine. INRA Prod. Anim., 2010, vol.23(2), 225-236.
- Nys Y et Sauveur B. Valeur nutritionnelle des œufs. INRA Prod. Anim., 2004, vol.17(5), 385-393.
- Norme CEE-ONU (N°63) 1989. Concernant certains produits d'œufs de poule destinés à l'industrie alimentaire.
- Norme AFNOR (NF V04-407) 2002. Détermination de l'azote totale et calcul de la teneur en protéines (méthode de Kjeldahl).



-Ngouyamsa S. Contribution à l'étude comparative de la qualité commerciale des œufs du marché et des œufs des grandes surfaces: cas de la zone urbaine de la ville de Dakar. Thèse de doctorat: Université Cheikh Anta Diop de Dakar.2007.75 p.

-Nathier-Dufair N. Les œufs et les ovoproduits: Educa. gri. édition, 2005. 81p. Collection j'apprends, coordination pédagogique CNPR. ISBN: 2-84444-384-2.

- Nau F, Thapon J-L., Gestin L, Jocelyne. Etude comparée des propriétés fonctionnelles et de la composition des fractions épaisses et liquides du blanc d'œuf de poule. Ind. Alim. Agr., 1996, Vol. 113, 5-10.

-Nicorescu I. Etude du couplage procédé/produit lors de la production des mousses par des agrégats protéiques. Thèse de doctorat: Université de Nante. France. 2009. 266 p.

## O

-Ozidal T., Altay F., Capanoglu E. A review on protein-phenolic interactions and associated changes. Int. Food Res. J., 2013, vol.51, 954-970.

## P

-Prigent S-E-V., Voragen A-G-J., Van Koningsveld G-A. Renard C.M.G.C., Baron A., Gruppen H. Interactions between globular proteins and procyanidins of different degrees of polymerization. J. Dairy Sci., 2009, Vol.92, 5843–5853.

-Prigent S. Interaction of phenolic compounds with globular proteins and their effects on food-related functional properties. Thèse de doctorat: Université de Wageningen. 2005.

## R

-Raccosta S., Manno M., Bulone D., Giacomazza D., Militello V., Martorana V., San Biagio P-L. Irreversible gelation of thermally unfolded proteins: structural and mechanical properties of lysozyme aggregates. Eur. Biophys. J., 2010, Vol.39, 1007-1017.

-Raikos V., Campbell L., Euston R-S. Rheology and texture of hen's egg protein heat-set gels as affected by pH and the addition of sugar and/ or salt. Food.Hyd., 2007, Vol.21, 237-244.

-Rodrigues R-M., Martins A-J., Ramos O-L., Malcata F-X., Teixeira J-A., Vicente A-A., Pereira R-N. Influence of moderate electric fields on gelation of whey protein isolate. Food Hyd., 2015, Vol.43, 329-339.

## S

-Santos D-O., Coimbra J-S-R., Teixeira C-R., Barreto S-L-T., Giraldo-Zuniga A-D., Da Silva M-C-H. Solubility of proteins from quail egg white as affected by agitation time, pH and salt concentration. *Int. J. Food. Prod.*, 2014, Vol.18(2), 250-258.

-Selmane D. Etude de l'extraction des protéines de coproduits d'abattage et de leur valorisation comme ingrédients fonctionnels. Thèse de doctorat: Université Blaise Pascal. 2010.154 p.

## T

-Thomas M-E-C. Influence de l'activité de l'eau sur les interactions lactose / $\beta$ - lactoglobuline de poudres laitières modèles lyophilisées. Thèse de doctorat: Université de Lorraine. 2004, 168 p.

## V

Viljanen K. Protein oxidation and protein-lipid interactions in different food models in the presence of berry phenolics. University of Helsinki, 2005. p 87. ISBN 952-10-2653-7.

## Z

-Zhang W., Liu F., Tang J., Nindo C. Physical properties of egg whites and whole eggs relevant to microwave pasteurization. *J. Food Eng.*, 2013, Vol.118, 62–69.

-Zuniga R-N et Aguilera J-M. Aerated food gels: fabrication and potential applications. *Trends in Food Sci. Technol.*, 2008, Vol.19, 176-187.

# **Annexes**



## Annexe 1: Méthode de Kjeldahl

### a) Principe

Le dosage de l'azote par la méthode de Kjeldahl s'effectue en trois étapes, soit la minéralisation (digestion), la distillation et le titrage. La minéralisation, ou digestion, de l'échantillon vise à convertir la totalité de l'azote organique en ions ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), pendant cette étape, Le carbone, l'hydrogène et l'oxygène sont minéralisés à l'état de dioxyde de carbone et d'eau. l'azote moléculaire n'est pas oxydé, il est libéré à l'état d'ammoniac qui, en milieu sulfurique, se retrouve à l'état d'ion ammonium :



Les molécules organiques mises en présence d'un bon rapport d'acide sulfurique concentré ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), catalysées par du sulfate de cuivre, sont décomposées par oxydation pour donner principalement du  $\text{CO}_2$  et de l'eau. L'azote organique quant à lui, est converti en sulfate d'ammonium  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

On ajoute un excès d'hydroxyde de sodium ( $\text{NaOH}$ ) au digeste refroidi pour permettre la transformation de l'azote, sous forme de sulfate d'ammonium, en ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) :



L'ammoniac est distillé dans un excédent d'acide borique et déterminé par titrage avec une solution d'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ou d'acide chlorhydrique jusqu'au virage de couleur :



### b) Analyse

La préparation de la prise d'essai s'effectue on pesant 1 g du blanc d'œuf, soit m cette masse.

La première étape, qui est la minéralisation, elle s'effectue on introduisant quantitativement la prise d'essai dans le récipient de minéralisation contenant éventuellement les régulateurs d'ébullition.

Il est recommandé d'effectuer les opérations suivantes sous une hotte bien ventilée résistante à l'acide sulfurique :

On a ajouté 25 ml d'acide sulfurique et une quantité appropriée de catalyseur (1 g de sulfate de potassium et 1 g de sulfate de cuivre), en fonction de la prise d'essai. Ensuite le ballon ou le tube est placé sur le système de chauffage pour subir la minéralisation.

Le chauffage est réalisé en trois étapes :

D'abord on chauffe doucement pour éviter la formation excessive de mousse, puis, on chauffe avec modération, jusqu'à carbonisation de la prise d'essai et disparition de la mousse. Enfin on chauffe plus fort jusqu'à ébullition régulière du liquide. Le chauffage est correcte si l'acide bouillant se condense au niveau du milieu du tube ou du col du ballon de Kjeldahl.



**Figure 1 :** Minéralisation sous une hotte ventilée



**Figure 2:** Décoloration du contenu du matras.

Dans le tube ou le ballon refroidi, on a ajouté avec précaution 30-50 ml d'eau. On a agité par rotation et laissé le refroidir. Puis on a adaptés le tube au distillateur.



**Figure 3 :** La distillation de l'ammoniaque.

Dans le flacon de réception (de taille suffisante pour recevoir, outre l'acide borique, le distillat et la solution titrée d'acide) on a introduit entre 20 ml et 50 ml de la solution d'acide borique et, quelques gouttes d'indicateur coloré (Tashiro) .

Le titrage est réalisé à l'aide de la solution d'acide sulfurique ou chlorhydrique soit en continu au fur et à mesure de la distillation, soit en fin de distillation sur l'ensemble du distillat ; il contient alors d'effectuer le titrage aussi rapidement que possible une fois la distillation terminée.

Un essai à blanc est réalisé périodiquement en introduisant dans un ballon de minéralisation le catalyseur et l'acide sulfurique concentré dans les mêmes quantités que pour l'échantillon, pour suivre ensuite les opérations de minéralisation, distillation et titration



**Figure 4 : Titration par l'acide sulfurique.**

### c) Calcule

On calcule la teneur en azote, exprimé en pourcentage par unité de masse, de façon suivante :

$$N\% = \frac{14 \times (v_s - v_b) \times \text{Norm.}}{m} \times 100$$

Où :

**vs**: Volume de l'acide sulfurique nécessaire pour titrer la solution de l'échantillon (ml);

**vb**: Volume de l'acide sulfurique nécessaire pour titrer le blanc (permet d'éliminer les interférences possibles occasionnées par les différents réactifs) (ml);

**Norm.** : normalité de la solution de l'acide sulfurique exprimé en mol/1000ml ;

**m** : masse en gramme de l'échantillon ;

**14** : masse moléculaire de l'azote (g d'azote/ mol).

La teneur en protéines est obtenue en multipliant le taux d'azote avec le facteur de conversion égale à 6,12.



## Annexe 2: Résultats des PRE des gels de blanc d'œuf

Tableau I: Valeurs de PRE des gels du blanc d'œuf additionné de NaCl.

Température (°C)	Masse du gel (g)	Concentration du NaCl (%)	Masse d'eau expulsée (g)	Pouvoir rétenteur d'eau (g/Kg)	Moyenne et écart type (g/Kg)
86	1.25	3	0,30	560	584±33,94
			0,24	608	
		6	0,36	516	520±5,65
			0,34	524	
		12	0,36	512	488±31,11
			0,42	464	
89	1.25	3	0,35	520	536±22,62
			0,31	552	
		6	0,36	512	520±11,31
			0,34	528	
		12	0,49	410	432±31,11
			0,43	454	
92	1.25	3	0,38	496	530±48,08
			0,29	564	
		6	0,37	500	518±25,45
			0,33	536	
		12	0,46	432	408±33,94
			0,52	384	

Tableau II: Valeurs de PRE des gels du blanc d'œuf additionné de glucose.

Température (°C)	Masse du gel (g)	Masse du glucose (%)	Masse d'eau expulsée (g)	Pouvoir rétenteur d'eau (g/Kg)	Moyenne et écart type (g/Kg)
86	1.25	3	0,21	632	628±5,66
			0,22	624	
		6	0,24	608	612±5,65
			0,23	616	
		12	0,26	592	564±39,59
			0,33	536	
89	1.25	3	0,29	568	564±16,97
			0,30	560	
		6	0,31	552	544±11,31
			0,33	536	
		12	0,34	528	520±11,31
			0,36	512	
92	1.25	3	0,30	560	536±33,94
			0,36	512	
		6	0,45	440	448±11,31
			0,43	456	
		12	0,37	504	480±32,52
			0,43	456	

**Tableau III:** Valeurs de PRE des gels du blanc d'œuf additionné de saccharose.

Température (°C)	Concentration du saccharose (%)	Masse d'eau expulsée (g)	PRE (g/Kg)	Moyenne et écart type (g/Kg)
86	3	0,21	632	640 ±11,31
		0,19	648	
	6	0,23	616	620± 5,65
		0,22	624	
	12	0,32	544	572±39,59
0,25		600		
89	3	0,24	608	608 ± 0
		0,24	608	
	6	0,28	576	592 ±22,62
		0,24	608	
	12	0,32	544	564±28,28
		0,27	584	
92	3	0,28	576	572 ±5,65
		0,29	568	
	6	0,31	552	560 ±11,31
		0,29	568	
	12	0,32	544	556 ±16,97
		0,29	568	

**Tableau IV:** Valeur de PRE des gels du blanc d'œuf additionné de l'acide tannique.

Température (°C)	Concentration d'acide tannique (%)	Masse d'eau expulsée (g)	PRE (g/Kg)	Moyenne et écart type (g/Kg)
86	0,1	0,24	608	584±33,91
		0,30	560	
	0,5	0,45	440	508±90,50
		0,29	568	
89	0,	0,29	568	580±16,97
		0,26	592	
	0,5	0,25	600	588±16,97
		0,28	576	
92	0,1	0,42	464	464±0
		0,41	464	
	0,5	0,30	560	544±22,62
		0,34	528	

**Tableau V:** Valeurs de PRE des gels du blanc d'œuf additionné de l'acide gallique

Température (°C)	Concentration d'acide gallique (%)	Masse d'eau expulsée (g)	PRE (g/Kg)	Moyenne et écarte type (g/Kg)
86	0,1	0,31	552	552±0
		0,31	552	
	0,5	0,37	504	512±11,33
		0,35	520	
89	0,1	0,42	464	456±11,31
		0,44	448	
	0,5	0,40	480	468±16,97
		0,43	456	
92	0,1	0,45	440	464±33,94
		0,39	488	
	0,5	0,38	496	504±11,31
		0,36	512	

**Tableau VI:** Valeurs de PRE des gels du blanc d'œuf additionné de la quercétine.

Température (°C)	Concentration de la quercétine (%)	Masse d'eau expulsée (g)	PRE (g/Kg)	Moyenne et écarte type (g/Kg)
86	0,1	0,30	560	564±5,65
		0,29	568	
	0,5	0,30	560	544±22,62
		0,35	528	
89	0,1	0,32	544	552±11,31
		0,30	560	
	0,5	0,26	592	588±5,65
		0,27	584	
92	0,1	0,34	528	532±5,65
		0,33	536	
	0,5	0,26	592	584±11,32
		0,28	572	



**Annexe 3: Table de fréquence des vibrations de valence caractéristiques en IR.****Tableau I: Tables de fréquences de vibration caractéristiques en IR**

<b>Groupement</b>	<b>Liaison</b>	<b>Nombre d'onde (cm-1)</b>	<b>Vibration</b>	<b>Intensité</b>
Alcools et phenols	O-H libre	3650-3590	élongation	variable et fine
Alcools et phenols	O-H assoc	3400-3200	élongation	forte et large
Acides	O-H assoc	3300-2500	élongation	forte et très large
Amines primaires	N-H	3500	Elongation asymétrique	moyenne
		3410	élongation symétrique	moyenne
Amines secondaires	N-H	3500-3310	élongation	moyenne
Alcynes	C≡C	2140-2100	élongation	faible
Aromatiques	C=C	1600 ; 1580 1500 ; 1450	élongation ; 4 bandes	variables
Aldehydes	C-H	2900-2800	elongation	faible
		2775-2700	élongation	moyenne
-C-H (aliphatiques)	C-H	2890-2880	élongation	faible

Présenté par :  
Soukkou Fatima  
Zaimi Dounia

Encadreur : M<sup>me</sup> : Akkouche Zoubida

Date de soutenance: 29/06/2016

## Impact de la chaleur et de quelques additifs alimentaires sur le pouvoir gélifiant du blanc d'œuf.

Nature de diplôme : Master 2 en biologie : Option Contrôle de Qualité des Produits Alimentaires

### Résumé

Le blanc d'œuf est un ingrédient alimentaire largement utilisé en industrie alimentaire, du fait de ses nombreuses propriétés techno-fonctionnelles parmi lesquelles ses propriétés gélifiantes. Cette propriété technologique est affectée par de nombreux facteurs, intrinsèques incluant la structure et la conformation des protéines et extrinsèques dont la température, le pH, la force ionique, les interactions protéine-protéine et protéine-eau.

Dans ce travail, le PRE, la microstructure et l'analyse IR des spectres des gels de blanc d'œuf additionnés ou non de différents additifs alimentaires à différentes concentrations obtenus à 86,89 et 92°C, sont étudiés.

Nos résultats montrent, que l'ajout des additifs alimentaires aux blanc d'œuf avant la gélification, conduit à l'obtention du gel dont les PRE sont inférieurs comparé aux gels sans additifs. Les pertes d'eau de ces gels provoquées par l'addition de ces différents additifs sont dans l'ordre croissant suivant: NaCl, glucose, saccharose, acide tannique, acide gallique et quercétine.

Aussi, plus la concentration de chaque additif utilisé augmente, plus le gel obtiendra plus ferme et donc son PRE diminue. Concernant la température de gélification, plus elle augmente, plus le PRE du gel obtenu diminue.

La microstructure des gels montre également des différences dans l'organisation des gels, selon le type et la concentration de l'additif ajouté, ainsi que la température de gélification.

Les spectres infrarouges des gels du blanc d'œufs obtenus à 92°C/ 30min, additionnés ou non d'additifs alimentaires, montrent l'existence de différents types de liaisons chimiques, en fonction du type d'additifs ajouté.

Mots clés : Protéines du blanc d'œuf, additifs alimentaires, thermogélification, PRE, Spectroscopie Infrarouges, polyphénols

### Abstract

Egg white is a food ingredient largely used in food industry, because of its many techno-functional properties among which its gelling properties. This technological property is affected by many factors, intrinsic including the structure and the conformation of the proteins and extrinsic like temperature, pH, the ionic strength, the interactions protein-protein and protein-water.

In this work, the WHC, the microstructure and the analysis of the IR spectra of the egg white gels added or without various food additives at various concentrations obtained at 86, 89 and 92°C, are studied.

Our results shows, that the addition of the food additives to the egg white before gelation decreases the WHC compared with the gels without additives. The water losses of this gel caused by the addition of these various additives are in the following increasing order: NaCl, glucose, sucrose, tannic acid, gallic acid and quercetin.

Also more the concentration of each additive used increases, more the gels obtained will be firmer and thus its WHC decreases. Concerning the temperature of gelation more its increases, more the WHC of gels obtained decreases.

The microstructure of gels also shows differences in the organization of the gel, according to the type and the concentration of the added additive, as well as the temperature of gelation.

The infra-red spectrum of egg white gels obtained with 92°C/30min, with or without food additives, shows the existence of different types of chemical bonds, according to additive types.

Key-words: Egg white proteins, food additives, thermogelation, WHC, infra-red spectroscopy, polyphenols.

### المخلص

يعتبر بياض البيض من اهم المكونات الغذائية المستخدمة على نطاق واسع في الصناعات الغذائية لخصائصه الوظيفية الهامة ، منها الخاصية الهلامية و التي تتأثر بالعديد من العوامل منها الداخلية بما في ذلك التشكيلة و البنية الذاتية للبروتين اما الخارجية منها فتتمثل في الحرارة ، درجة الحموضة ، القوة الايونية و التفاعلات بروتين-بروتين ، بروتين-ماء .

قمنا في هذا العمل بدراسة كل من البنية المجهرية ، قدرة الاحتفاظ بالماء ، و التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء لعينات الهلام المعالجة في درجات حرارة مختلفة ( 86 ، 92 ، 89 م ) / 30 دقيقة بوجود تراكيز مختلفة من المضافات الغذائية المقترحة .

تشير النتائج التي توصلنا اليها ان إضافة المضافات الغذائية إلى بياض البيض قبل معالجته حرارياً ، يؤدي إلى انخفاض قدرته على الاحتفاظ بالماء مقارنة بالهلام من دون إضافات ، حسب الترتيب التصاعدي الآتي: كلوريد الصوديوم، الجلوكوز، السكروز، حمض التانيك، حمض الفاليك و اخيراً الكيرسيتين. فكلما زادت تراكيز المضافات الغذائية كلما ازادت صلابة الهلام وبالتالي زادت نسبة فقدان الماء، وكذلك الامر بالنسبة لدرجة الحرارة.

أظهرت الدراسة المجهرية للبنية الداخلية للهلام وجود اختلافات وفقاً لاختلاف نوع وتركيز المضافات الغذائية و درجة الحرارة المستعملة. التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء للهلام الذي تحصلنا عليه في درجة حرارة 92 م ، بين وجود انواع مختلفة من الروابط الكيميائية التي تختلف حسب نوع المضافات الغذائية.

الكلمات المفتاحية : التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء ، الهلام ، المضافات الغذائية ، درجة الحرارة ، قدرة الاحتفاظ بالماء ، المركبات الفينولية.