

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
DEPARTEMENT DE TECHNOLOGIE ALIMENTAIRE

En vue de l'obtention du diplôme

De MASTER en GENIE DES PROCEDES

*Option : Qualité et conservation des aliments
Génie des industries alimentaires*

THEME

**Caractérisation comparée des galactomannanes
brutes et purifiées extraits des graines de
Gleditsia triacanthos et de *Ceratoniasiliqua*.
Applications alimentaires**

Soutenu le :21 Juin 2017
TALEB Houssam Eddine
Jury de soutenance :

par :MALOUADJMI Said

Présidente	BENAKMOUM A.	MCA (UMBB)
Promoteur	M ^r . NOUANI A.	Pr. (UMBB)
Examineur	BOUKHIAR A.	MAA (UMBB)
	TRACHI M.	MAA (UMBB)
Co Promoteur	BOUHADI N.	CRAPC (BouIsmaïl)

Promotion 2017

Remerciements

Avant tout nous remercions « الله » le tout puissant, de nous avoir ouvert les portes du savoir et qui sans lui ce travail ne serait jamais réalisé.

Nous tenons à exprimer nos essentiels remerciements à nos parents pour leur éternel et inconditionnel soutien, toujours présents de notre naissance à ce jour.

*Nos grands remerciements à Mr **NOUANI Abdelouahab**, notre encadreur pour sa générosité et l'aide nécessaire qu'il nous a apportées et nous a dirigé dans ce travail et qui nous avons prodigué ses conseils et ses orientations.*

*Mlle **BOUHADI Nabila**, chercheur CRAPC, notre Co promotrice pour ses orientations et ses précieux conseils.*

Notre profonde gratitude aux membres du jury qui vont juger ce travail.

*Monsieur Dr **BENAKMOUM Amar**, président de ce jury*

*Monsieur **BOUKHAIAR Aissa**, examinateur*

*Monsieur **BENSALIA HAFID**, responsable de la société **Biofood** pour son aide précieux dans la formulation et la fabrication des gelées*

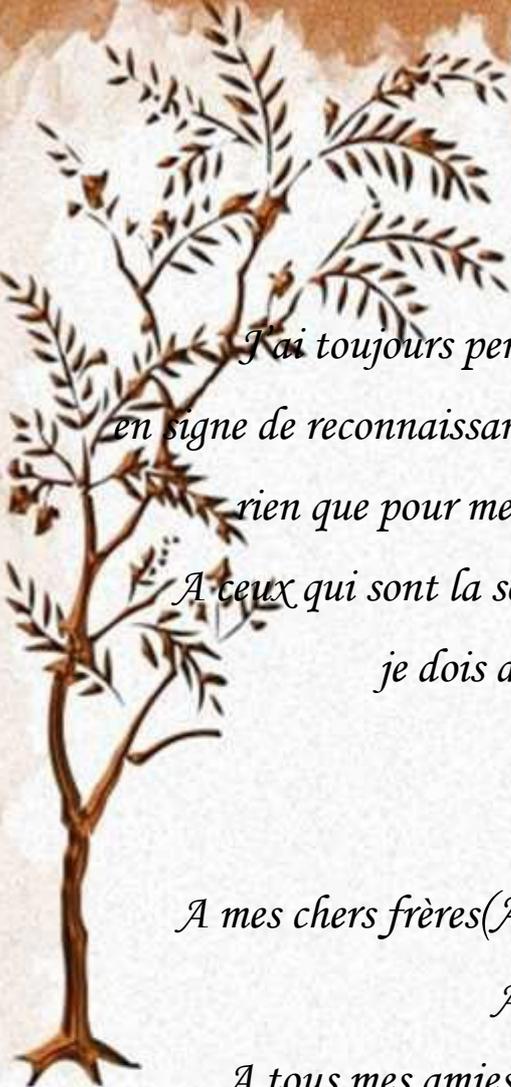
Des enseignantes du département de technologie alimentaire, à qui nous leur devons un profond respect pour le savoir qu'ils nous ont transmis tout au long de leur carrière.

Enfin, que tous ceux, de loin comme de près, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire trouvent ici l'expression de nos remerciements.

MALOUADJMSAID

TALEB HOUSSAM EDDINE

*De la promotion master **MGIA ET MQCA 2016/2017***



Dédicaces

J'ai toujours pensé faire ou offrir quelque chose à mes parents en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti comme efforts, rien que pour me voir réussir, et voilà, l'occasion est venue.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et de mon courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance.

A MES PARENTS

A mes chers frères (Abdelmoumen, Khaled, Nacer, Mohamed)

A toute ma famille TALEB

A tous mes amies (Groupe Elkala, Boudjalti, Halimi, Kefif, Malouadjmi) avec lesquelles

J'ai partagé mes meilleurs moments.

A Tous ceux que j'aime et je respecte.

A Tous mes amies de groupe MGIA

ABO SAD HOUSAME





Dédicace

J'ai toujours pensé faire où offrir quelque chose à mes parents en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti comme efforts, rien que pour me voir réussir, et voilà, l'occasion est venue.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et de mon courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance.

A MES PARENTS

A mes chers frères

A tous mes chères sœurs

A toute ma famille MALOUADJMI

*A tous mes amies, (Chenna .Y, Tazrouti.y, Taleb .h kefif .y, Islam et Hamza et Khaled et RACHID et groupe AADL) avec lesquelles
J'ai partagé mes meilleurs moments.*

A Tous ceux que j'aime et je respecte.

A Tous mes amies de groupe MQCA

SAID



الملخص :

هذه الدراسة تمت على مستوى قسم التكنولوجيا الغذائية في الاعوام السابقة والمتمثلة في استخراج غلاكتومانون من نوعين مختلفين من البذور و المتمثلان في بذور الخروب و غليديتسيا و الشيء الجديد والمبتكر هو الحصول على الغلاكتومانون من دون القيام بعملية الاستخراج المتبعة لي سيركيرا و ذلك بطحن قشور بذور غليديتسيا الطبقة المحيطة بلب بذور الخروب و تصفيته واستعماله في عدة اغذية و مشروبات.

بالاضافة الى الغلاكتومانون المبتكر هناك تعديلات في طريقة استخراج الغلاكتومانون المعتاد التي ادت الى زيادة في العطاء التي فاقت 35% للخروب و 20% للغليديتسيا.

و تهدف هذه الدراسة الى السعي في تعويض المضافات الصناعية و البكتيرية التي هي ذات ثمن باهض من جهة و ضارة من جهة بالنسبة للصناعة و لذلك نريد ان نضمن اغذية ذات مكونات طبيعية .

و كما استنتجنا من تجاربنا في استعمال الغلاكتومانون بنوعيه ان درجة الحموضة للوسط في الغذاء تاتر على فاعلية غلاكتومانان لي غليديتسيا و تنقص من قوته المخثرة.

Résumé :

La présente étude fait suite aux travaux déjà réalisés au niveau du département de technologie alimentaire sur deux sources de galactomannanes à savoir *Ceratonia siliqua* et *Gleditsia triacanthos*. La partie innovante dans ce travail est la caractérisation des galactomannanes sous forme brute sans extraction. Ce sont des poudres issues du broyage soit de l'endosperme du caroube soit des téguments de *Gleditsia* et incorporés directement à l'état natif dans la formulation des boissons et gelées en remplacement de gélifiants commerciaux.

L'extraction a donné un rendement en galactomannanes considérable, supérieur à 30% pour le caroube et plus de 20% pour *Gleditsia* en modifiant le procédé d'extraction initialement prévu. La composition physico-chimique comparée pH, Brix et spectre infrarouge des galactomannanes et des poudres a montré une similitude presque parfaite à l'exception des téguments de *Gleditsia* riche en composés insolubles qui gênent légèrement leur pouvoir gélifiant.

Les aptitudes technologiques des échantillons sur des préparations alimentaires telles que les boissons, et les gelées a permis de renforcer l'idée d'un remplacement partiel ou total des gélifiants et épaississants du commerce comme la pectine, l'amidon modifié le CMC ou le xanthane. Sur le plan rhéologique, les solutions préparées sont de nature pseudo-plastique des avec profils de la viscosité et du cisaillement identiques à l'exception des poudres de *Gleditsia* qui paraissent être influencées par les acidités élevées mais qui gardent leur état natif au pH neutre.

Mots clés : Galactomannanes purifiées, poudre de galactomannane, *Ceratonia siliqua*, *Gleditsia triacanthos*, pouvoir gélifiant, aptitudes technologiques.

Summary: The present study made follow to the works already completed on the level of the food department of technology on two sources of galactomannanes: *Ceratonia siliqua* and *Gleditsia triacanthos*. The part innovating in this work is the characterization of the galactomannanes in rough form without extraction. They are powders resulting from the crushing of either the endosperm or the teguments of *Gleditsia* and incorporate directly at the native state in the formulation of drinks and frozen in replacement of gelling commercial

. Extraction gave a considerable output of galactomannanes, higher 30% for carob and more than 20% for *Gleditsia* by modifying the process of extraction initially.

. Compared physicochemical composition (pH, infrared Brix and spc) of the galactomannanes and the powders showed an almost perfect similarity, with the exception of the teguments of rich *Gleditsia* composed of some insoluble which obstruct their gelling powers slightly.

Technological aptitudes of the samples on food preparations such as drinks, and the frosts made it possible to reinforce the idea of replacement partial or total of gelling and thickeners commercial like pectin, the starch modified the CMC or the xanthane. On the rheological level, the prepared solutions are of nature pseudoplastic of with profiles of viscosity and of shearing identical, with the exception of the powders of *Gleditsia* which appear to be influenced by high acidities but which keep their native state with the neutral pH.

Keywords: Galactomannanes purify, powder of galactomannane, *Ceratonia siliqua*, *Gleditsia triacanthos*, gelling power, technological aptitudes.

Liste des tableaux

Tableau 1: Présentation de la plante étudiée *le caroubier *	8
Tableau 2: présentation de la plante étudiée « le févier d'amimiques »	12
Tableau 3: viscosité des solutions préparées à 1% dans l'eau distillée :	21
Tableau 4: Composition des boissons en polysaccharides :	22
Tableau 5: Viscosité des solutions préparées à 1% dans l'eau distillée :	25
Tableau 6: Couleur des échantillons des galactomannanes et de poudre exprimée par le modèle CIE L* a* b* :	26
Tableau 7: Groupements chimiques des poudres et des galactomannanes analysés par FTIR dans le domaine de fréquence compris entre 400 cm ⁻¹ et 4000 cm ⁻¹ .	27
Tableau 8: Résultats comparatif des analyses physico-chimiques de la gelée	28
Tableau 9: Résultats comparatif des analyses physico-chimiques des boissons obtenus	29
Tableau 10: Résultats comparatif des analyses physico-chimiques des gels de nappage	30

Liste des figures

Figure 1: Structure des galactomannanes adapté par GILLET et al (2014)	6
Figure 2 : Arbre du <i>Gléditsia triacanthos</i> (Photo originale)	13
Figure 3 : Photo de différents constituants de <i>Gleditsia triacanthos</i>	15
Figure 4 : Photos d'obtention de différents constituants de caroube.....	16
Figure 5 : étapes d'obtention des constituants des graines de <i>Gleditsia triacanthos</i> et de caroube (SCIARINI et al ., 2009).....	16
Figure 6 : Photos des étapes d'extractions des des galactomannanes purifiées et galactomannanes brutes (poudre de téguments et d'endosperme).....	17
Figure 7 : Étapes d'obtention des galactomannanes (CERQUEIRA et al., 2010)	18
Figure 8 : Histogramme de rendement en galactomannane de deux Légumineuses étudiées.....	24
Figure 9 : photo de la couleur des poudres : l'endosperme de caroube(A), tégument de <i>gleditsia triacanthos</i> (B), galactomannanes de caroube (D) et de <i>gleditsia</i> (C) (Photo originale).....	25
Figure 10 : Spectres IR des poudres et des galactomannanes isolés des graines de <i>Cératonia siliqua</i> et de <i>G. Triacanthos</i>	27
Figure 11 : Photo de la gelée (Photo originale) A :Pectine, B : galactomannanes de caroube, C : farine de caroube ,D : farina de gladitsia, E : galactomannanes de <i>gleditsia</i>	28
Figure 12 : Photo de la boisson obtenue (Photo original).....	29
Figure 13 : la gelée de nappage (photo originale).....	30
Figure 14 : Contrainte des gelées de nappage préparés	31
Figure 15: viscosité des gelées de nappage préparés	32
Figure 16 : Contrainte et viscosité de gel de nappage préparé (P.GT).....	32

Liste des abréviations

CEILab :Commission internationale de l'éclairage.

FTIR :Infrarouge à transformé de fourier.

Gal:Galactose.

Man: Mannose

GM:Galactomannone.

GT :*Gléditsiatriacanthose*.

P C : Poudre de l'endosperme de caroube.

P GT : Poudre de tégument de *gléditsiatriacanthose*.

C :Caroube.

CMC :Carboxyle méthyle cellulose.

Introduction	1
I -Les polysaccharides	3
I-1-Généralités sur les polysaccharides	3
I-2-Polysaccharides bactériens	4
I-2-1Dextrane	4
I-2-3-Xanthane	4
I-2-4-Pullulane	4
I-3-Polysaccharides végétaux	4
I-3-1-Amidon	5
I-3-2-Fructane	5
I-3-3-Cellulose	5
I-3-4-Pectines	5
I-3-5-Galactomannanes	5
II-Les galactomannanes	5
II-1-Structure moléculaire des galactomannanes	5
II-2-Propriétés Rhéologique	6
II-3-Propriété physique chimique	7
II-4-Application alimentaire et non alimentaire des galactomannanes	7
III-Les légumineuses (fabacées) sources de galactomannane	8
III-1-Sources des galactomanannes	8
III-2-Le caroube	8
III-2-1-Généralité sur le caroube	8

III-2-2-La composition de caroube	10
III-2-3-Utilisation de caroube	10
III-3-Le Févier d'Amérique	11
III-3-1-Généralité sur le Févier d'Amérique "Gléditsiatriacanthos".....	11
III-3-2-Composition physico-chimique de Gléditsiatriacanthos	13
III-3-3-Utilisation de gleditsia triacanthos	14

Matériel et Méthodes

I-Matière première végétale :.....	15
II-Obtention des poudres de caroube et de gleditsia triacanthos :	17.
III- Extraction et purification des galactomannanes:.....	19
III-1- Rendement en galactomannanes	19
III-2- Caractérisation physico-chimique des galactomannanes brutes et des galactomannanes purifiés :.....	19
III-2-1-Détermination de la couleur de la poudre des polysaccharides bruts et purifiés obtenus :.....	19
III-2-2-Analyse infrarouge des poudres des galactomannanes obtenus	20
III-2-3-Viscosité :.....	20
IV- Application technologique :.....	21.
IV- 1-Préparation de la Gellée :.....	21
IV-2- Préparation de la boisson citronnée :.....	21.
IV-3- Préparation des gels de nappage :.....	22

RESULTAT ET DISCUSSION

I-Etude préliminaire des galactomannanes.....	24
--	-----------

I-1-Extraction des Galactomannanes.....	24
I-1-1Rendement	24
I-1-2-Caractérisation physico-chimique :.....	24.
I-1-2-1-Viscosité :.....	24.
I-1-2-2-Couleur des galactomannanes brutes et purifiés	25..
I-1-2-3-Etude de la structure des galactomannanes par analyse infrarouge (FTIR)..	26
II-Application technologique	28
II-1-La gelée:.....	28
II-2-Incorporation des galactomannanes dans la boisson citronnée :.....	28
II-3-La gelée d'nappage :.....	30
Conclusion.....	33

Introduction

Au cours de ces dernières années, l'utilisation des polymères naturels et de leurs dérivés s'accroît dans de très nombreux domaines dans un souci de développement des ressources renouvelables et des procédés de chimie verte. Ils sont regroupés en trois grandes classes : les protéines, les élastomères hydrocarbonés et les polysaccharides.

Ces derniers sont les plus populaires pour la préparation de matériaux (nanoparticules, films, membranes ...). Ils sont biodégradables, biocompatibles, et leur coût de production est généralement faible.

Les polysaccharides sont des polymères constitués d'un enchainement de molécules dont les unités structurales de base sont des monomères de sucres. Ils sont généralement d'origine naturelle, végétale ou animale, les polysaccharides d'origine végétale étant les plus valorisés.

Les polysaccharides peuvent être chargés ou neutres, l'existence de charges leur confère des propriétés physico-chimiques remarquables qui donnent lieu à de nombreuses applications dans les domaines de l'agro-alimentaire, de la médecine, et des cosmétiques (**MKEDDER, 2012**).

Trouver une solution de remplacement aux ingrédients synthétiques d'origine chimique des produits alimentaires est un axe de recherche très exploité car il présente un enjeu économique important et une perspective sur la santé publique cruciale. Dans ce contexte, notre travail a pour but d'étudier la possibilité de remplacer les polysaccharides synthétiques ou produit biologique à coût élevé (CMC, Xanthans, pectine et l'amidon modifié) dans plusieurs produits alimentaires par les galactomannanes bio obtenus.

Cependant, il est utile de rappeler que ce travail est la suite des études effectuées au niveau du département de technologie alimentaire qui ont mis en évidence la possibilité de produire des films comestibles à base de galactomannanes extraits à partir des graines de *Gleditsia triacanthos* et *Ceratonia siliqua* cultivée localement suivi par une caractérisation des polysaccharides et des films obtenus.

Donc cette étude vise une amélioration de la méthode d'extraction des polysaccharides en terme de rendement ainsi la possibilité de remplacer les gélifiants industriels dans plusieurs applications (les boissons, les gelées et les nappages) par le polysaccharide brut ou purifié obtenu. Par ailleurs et en terme d'innovation, l'étude a mis en évidence l'application des poudres brutes de galactomannane dont l'obtention directe à partir des graines sans extraction

Introduction générale

préalable des polysaccharides réduirait considérablement le cout de production à l'échelle industrielle

La présente étude s'articule autour de trois parties. La première partie est consacré à une synthèse bibliographique, rappelant la définition, la composition et la structure des polysaccharides et les légumineuses.

Dans la deuxième partie, sont donnés les matériels et les méthodes utilisés pour atteindre nos objectifs.

Une troisième partie présente les principaux résultats obtenus, suivis d'une discussion. Enfin, une conclusion générale présente la synthèse de ces travaux suivie par les perspectives à prendre en compte dans les recherches ultérieures.

I -Les polysaccharides :

I-1-Généralités sur les polysaccharides :

Les polysaccharides sont des polymères biologiques constitués d'un ou plusieurs types de molécules mono saccharidiques. Les polysaccharides constitués de mêmes types d'oses sont nommés les glycanes. Chaque polysaccharide est caractérisé par un degré de polymérisation bien déterminé et un type de liaison entre les monomères. Le glucose, le fructose, le galactose sont parmi les monomères constitutifs. Il existe aussi du mannose, de l'arabinose, des xyloses et du rhamnose (**AYALA et al. 2008; IGNAT, 2012**).

Les polysaccharides sont présents chez tous les êtres vivants, dans les végétaux comme l'amidon, la cellulose, les hémicelluloses et les pectines; dans les animaux comme le glycogène et l'acide hyaluronique, la chitine existe aussi chez les insectes et les crustacés; et dans les microorganismes (bactéries, champignons, algues) comme le xanthane, β -glucanes, les carraghénanes (**RUFF, 2008**).

Les sources de polysaccharides végétaux sont multiples. Ainsi, on distingue les polysaccharides de structure (cellulose, pectines), les polysaccharides de réserve (amidon), les gommés et les exsudats comme (gomme arabique), et enfin les mucilages. Ces deux dernières classes ou catégories, sont des mélanges de polysaccharides hétérogènes qui forment en contact de l'eau des gels. Elles sont très proches et difficilement dissociables (**WARRANT, 2004; STEPHEN et CHURMS, 1995**).

Les polymères constitutifs des mucilages sont en général des xylanes ou des dérivés pectiques et renferment le plus souvent des oses neutres (xylose, arabinose, galactose, rhamnose,...) et des acides uroniques (acide galacturonique, acide glucuronique) (**DELATTRE, 2005; CARPITA et GIBEAUT, 1993**).

Les propriétés des polysaccharides, sont largement exploitées dans différents secteurs industriels, aussi bien en industrie agro-alimentaire (comme agents texturants) que dans le domaine pharmaceutique (substances biocompatibles, thérapeutiques). En effet, les interactions polysaccharides-protéines ont un rôle primordial dans de nombreux processus physiologiques et pathologiques (thrombose, inflammation, métastases, stérilité...) (**ROGER, 2002**). Parmi les propriétés rhéologiques, il existe des hydrogels et des cryogels obtenus à partir de mélanges entre une protéine et un polysaccharide, qui permettent leur manipulation dans des conditions de techniques de culture cellulaire. Les hydrogels et les cryogels ne présentent pas de cytotoxicité. Ils assurent la viabilité cellulaire dans des milieux de culture standards, le hyaluronate de sodium (NaHyal) et le gellane comme exemple (**IGNAT, 2012**).

I-2-Polysaccharides bactériens :

Les micro-organismes produisent une grande variété d'exopolysaccharides ayant des caractéristiques physiques et chimiques uniques. Ces exo polysaccharides peuvent être des homo polysaccharides ou des hétéro polysaccharides (SINGH *et al.*, 2015).

I-2-1-Dextrane :

Le dextrane est un polymère de glucose où les résidus de glucose sont généralement liés par des liaisons ($\alpha 1 \rightarrow 6$). Toutefois quelques ramifications interviennent également. celle-ci sont typiquement formées par des liaisons ($\alpha 1 \rightarrow 2$, $\alpha 1 \rightarrow 3$ ou $\alpha 1 \rightarrow 4$), selon que la source de dextrane provient de bactérie ou espèces de levures (HAMES *et al.*, 1999). et Wei sella (NACHER VASQUEZ ET AL *et al.*, 2015).

I-2-2-Xanthane :

La gomme xanthane est un exo-polysaccharide hydrosoluble d'une espèce bactérienne GRAM négatif *Xanthomonas campestris* (Pseudomonaceae) produite industriellement par fermentation à partir d'une source de carbone (PALA NIRAJ et JAYA RAMAN, 2011).

I-2-3-Pullulane :

Le pullulane est un polysaccharide neutre hydrosoluble qui est produit à partir de l'amidon par la levure *Aureobasidium pullulans*. Il est constitué d'unités maltotriose reliées par des liaisons chimiques $\alpha (1 \rightarrow 6)$ L'unité maltotriose est constituée de trois unités de galactopyranose liées en $\alpha (1 \rightarrow 4)$. (RUDY *et al.*, 2011).

I-3-Polysaccharides végétaux :

Les sources de polysaccharides végétaux sont multiples, Ils se distinguent les polysaccharides de réserve (amidon, galactomannane), les polysaccharides de structures (cellulose, hémicellulose, pectines), les polysaccharides exsudats (gomme arabique) et en fin les mucilages (WARRAND, 2004).

I-3-1-Amidon :

L'amidon, le principal glucide dans la plupart des régimes, est le glucide stocké dans les plantes est elle que les céréales, les légumes racinaires et les légumineuses. Il se compose seulement de molécules de glucose (CUMMINGS et STEPHEN, 2007). L'amidon est stocké sous forme de granules de semi-cristallines discrètes chez les plantes supérieures, et se compose de deux éléments principaux à savoir l'amylose linéaire et l'amylopectine fortement ramifiée (CAI *et al.*, 2015).

Etude bibliographique

I-3-2-Fructane :

Les fucanes, ou fucoïdiens constituent une famille hétérogène de polymères à base unités L-fucose liées en α (1.2) et sulfatés en 4 dont la composition varie depuis les molécules riches en fucose vers des molécules, plus pauvres en cet ose comportant de grande proportions de galactose de xylose ou encore d'acide uronique (**SANDRINE. 2004**).

I-3-3-Cellulose :

La cellulose, principale bio polymère déstructure des végétaux, est l'un des composés organiques les plus abondants de la bio sphère. C'est un polymère en ont ramifié constitué de résidus de D-glucose unis exclusivement par des liaisons β (1→4) comme dans la cellobiose, deux molécules de D-glucopyranose unies par une liaison β (1→4) (β -D glucopyranoseyl[(1→4) α -D-glucopyranose) (**WEINMAN et MEHUL, 2004**).

I-3-4-Pectines :

Les pectines sont une classe de polysaccharides hétérogènes trouvés dans les parois Cellulaires de la plante. La pectine commerciale est extraite de citrus, de pomme, ou d'autres plantes supérieures. Elle est utilisée, épaississant, agent gélifiant, émulsifiant, et comme véhicule de médicaments dans les industries alimentaires et Pharmaceutiques. (**ZHANGE et al., 2015**).

I-3-5-Galactomannanes :

Les galactomannanes ont la structure d'une chaîne polysaccharidique neutre, constituée d'un squelette linéaire composé d'unités de D-mannoses β (1-4), et de branchements latéraux courts formés d'unités de D-galactose α (1-6) (**BUCKERIDJE et al, 2000**).

Les galactomannanes sont les principaux polysaccharides de l'endosperme de légumineuses. Ils sont considérés comme source d'énergie participant dans le processus de la germination (**BUCKERIDJE et al.,2000**).

II-Les galactomannanes

II-1-Structure moléculaire des galactomannanes :

Les galactomannane sont une structure générales emblable, constituée d'une chaîne de monomères dont chacun epossé de une chaîne principale de mannane sur laquelle il existe des ramifications d'une unité galactose (**MC CLEARLYE et al., 1988; RICHARD SON et al.,1998**). Ils se distinguent par leur teneur en unité galactose exprimée par le rapport mannose sur galactose (M/G), par la répartition des unités galactose le long de la chaîne de

Etude bibliographique

mannaneet aussi par leur masse molaire (FOX, 1992; AZERO et al., 2002). Cette différence dans la « microstructure » influencent fortement les interactions moléculaires (DA SILVA et al., 1990; MAO et al., 2006) et les propriétés rhéologiques des solutions de galactomannanes. En outre, les galactomannanes sont des polysaccharides hydrosolubles et neutres (DEA et al., 1975).

Généralement, les galactomannanes sont des polysaccharides gélifiants constitués d'une chaîne linéaire de 1,4- β -D-mannose sur laquelle un seul D-galactosyle est attachée sur le carbone C6 du D-mannosyl (POLLARD, 2007; LOPES DA SILVA et al, 1996). La répartition des résidus de galactose a été irrégulière, (MCCLEARY 1986), laissant des régions du mannose non substitué. On pense que ces régions permet des interactions avec d'autres polysaccharides, telles que l'interaction synergique avec x-carraghénane (SAND, 1982) et peut également assurer une protection contre la dégradation thermique par auto-association, par opposition à la gomme de guar, qui n'a pas des régions de mannose non substituées (MC CLEARY, CLARK ET AL. 1985; KOK 1999).

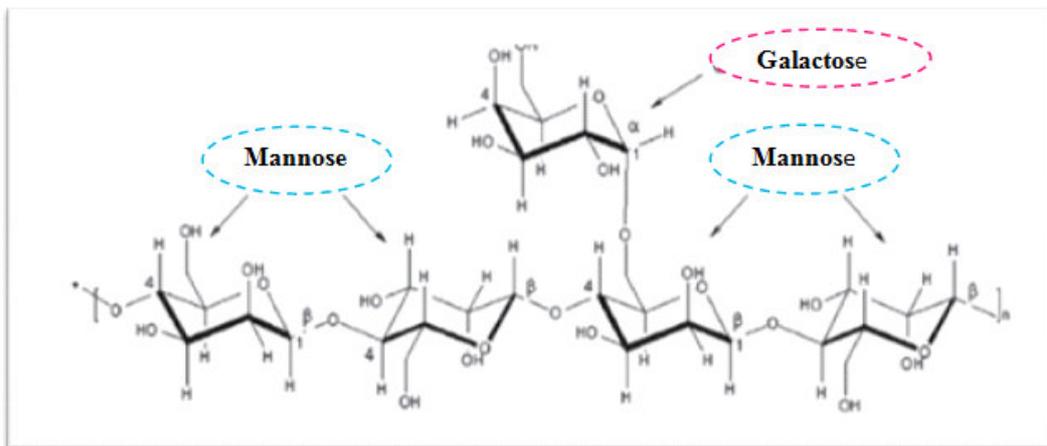


Figure 1: Structure des galactomannanes adapté par GILLET et al (2014)

II-2-Propriétés Rhéologique :

La gomme pure peut être plus sensible à la dégradation, sous l'influence de la température, que la gomme non pure car cette dernière contient des matières qui protègent le galactomannane de la dégradation. Les constituants protéiques semblent jouer ce rôle car les acides aminés sont connus pour leur forte interaction avec les petites chaînes libres qui sont impliquées dans la dégradation de la molécule sous les hautes températures (KÖK et al., 1998). Par ailleurs, La gomme de caroube seule ne forme jamais un gel mais elle peut former

des solutions stables très visqueuses à des concentrations très faibles (<1%) grâce à ses fortes Capacités de rétention d'eau (gonfler avec l'eau) non assimilable par l'organisme (**BATTLE et TOUS, 1997, POLLARD, 2006**) galactomananne est largement utilisé comme additif dans les industries alimentaires et non alimentaires, en raison de sa capacité à fournir une haute viscosité même à des faibles concentrations (<1%) et de fonctionner en tant que liant de l'eau. D'autre part, **RIZZO et al. (2004)** ont montré qu'un rapport mannose sur galactose élevé (équivalant à une faible teneur en résidus galactose dans la chaîne de galactomannane) entraînait une viscosité élevée. L'augmentation de la concentration des molécules de galactomannanes en solution favorise l'interpénétration des chaînes macromoléculaires conduisant à la création d'enchevêtrements plus ou moins denses, mais favorisent aussi l'établissement d'interactions inter chaînes (**DAKIA, 2010**). Ces phénomènes contribuent fortement au développement de la viscosité et expliquent la plus forte dépendance de la viscosité avec la concentration que pour d'autres polymères (**DAKIA, 2010**).

II-3-Propriété physique chimique :

Les galactomannanes sont des épaississants purs comme les alginates. Ils forment des solutions dont la viscosité augmente avec la masse et la concentration moléculaire et diminue de façon réversible avec l'élévation de la température. Ces solutions ont un comportement pseudo-plastique: la solution paraît figée au repos mais devient souple avec agitation (**CHIRAZ, 2012**).

En générale, ces propriétés dépendent de la structure et des caractéristiques physico-chimiques des galactomannanes. (**LOPEZ-FRANCO et al., 2012**).

II-4-Application alimentaire et non alimentaire des galactomannanes :

Il existe plusieurs applications pour les galactomannanes alimentaire et non alimentaire. Ils ont de nombreuses utilisations comme agent épaississant dans l'industrie alimentaire (crèmes glacées, mayonnaises, sauces, produits de boulangerie, les soupes et potages, produits laitiers, etc). Même dans l'industrie non-alimentaire (imprimerie, photographie, béton, explosifs, fluide de forage (pétrole), peinture, encre, cirage, textiles, produits de beauté, produits anti diarrhéiques, etc). (**MULTON, 1984 ; GOYCOOLA et al., 1995; GARTI et al., 1997 ; PATMORE et al., 2003**).

III-Les légumineuses (fabacées):

III-1-Sources des galactomanannes :

Les galactomannanes (GM) sont des polysaccharides hydrosolubles et neutres, isolés de l'endosperme de graines d'environ 70 espèces de légumineuses (DEA et al., 1975) et de la paroi cellulaire de certaines bactéries. Les galactomannanes sont connus pour leurs propriétés de liaison depuis l'Antiquité.

Parmi les galactomannanes les plus connus et les plus commercialisés, on peut citer la gomme de caroube (*Ceratonia siliqua* L.) produite principalement dans le pourtour méditerranéen ; la gomme de guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) produite en Inde, au Pakistan et aux USA ; la gomme de tara (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze) produite au Pérou et la gomme de fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.) produite en Inde, en Chine et au Canada (GARCIA-OCHOA et al., 1992 ; MAIER et al., 1993 ; REJEB, 1995 ; BATLLE et al., 1997).

III-2-La caroube :

III-2-1-Généralité sur la caroube :

Le nom *Ceratonia siliqua* dérive du grec *keraset* du latin *siliqua*, faisant allusion à la forme des fruits qui ressemble à la 'corne' de bouc (BOLONOS, 1955). Par ailleurs, le nom dialectal *kharouy*, originaire d'hébreu, a donné lieu à plusieurs dérivés tels *Kharrouben* arabe, *algarrobo*, En espagnol, *carrouboen* italien, *caroubier* en français (REJEB, 1995).

Le genre *Ceratonia* appartient à la famille des fabacae (légumineuses) de la sous famille des Caesalpinioideae (tableau 2), l'ordre des fabales (rosales), classe magnoliopsida (QUEZEL et SANTA, 1962).

Tableau 1: Présentation de la plante étudiée *le caroubier *

TAXONNOMIE	Classe	Magnoliopsida-decotyéones (QUEZEL et SANTA, 1962)
	Famille	Fabacées (légumineuses) (FADEL et al., 2011)
	Sous-famille	Caesalpinioideae (GILLET S., SIMON M., PAQUOT M. et al., 2014).
	Genre	<i>Ceratonia</i> (QUEZEL et SANTA, 1962)
	Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> (QUEZEL et SANTA, 1963)

Etude bibliographique

CARECTER BOTANIQUE	Lesfeuilles 	sont persistantes, de 10 à 20 cm long, se caractérisent par un pétiole sillonné sur la face interne et un rachis portant 8 à 15 folioles, opposées, de 3 à 7 cm, elles sont coriaces, entières, ovales à elliptiques, paripennées, légèrement échancrées de couleur verte (Ait Chitt et al., 2007).
	Les fleurs 	sont verdâtres, de petite taille (6 à 16 mm de longueur), spiralées et réunies en un grand nombre pour former des grappes droites et axillaires, plus courtes que les feuilles à l'aisselle desquelles elles se sont développées (Batlle et Tous, 1997).
	Fruits (les gousses) 	Il est vert puis brun et au moment de la maturité, brun foncé à noir. Il est sinueux sur les bords, aplati et présente un tissu pulpeux, sucré, rafraîchissant renfermant de 12 à 16 graines brunes soit 10 à 20 % du poids de la gousse en fonction de la culture et du climat (RJE B, 1995)
	Graines 	Couleur brune et de forme ovale plate et dure, représentent 10 à 20 % de poids de la gousse (PETIT et al., 1995 ; BOUZOUITA et al., 2007)

III-2-2-Composition de caroube :

La composition de la pulpe de caroube dépend de la variété, du climat et des techniques de cultures.

Toutefois, on peut avancer que la pulpe de caroube représente 90 % de la masse du fruit. Elle est riche en tanin et en sucres, dont les accharose représente 65 à 75 % des sucres totaux. Les taux de protéines et de lipides sont faibles (PETIT *et al.*, 1995). Les graines constituent environ 10 % de la masse de la gousse de caroube (PETIT *et al.*, 1995 ; BOUZOUITA *et al.*, 2007).

Les graines de caroube sont constituées de trois éléments : le tégument, la radicule ou l'embryon et l'endosperme

Le tégument : sont une enveloppe résistante de couleur brune (DAKIA *et al.*, 2007 ; DAKIA *et al.*, 2008). Cette coque représente 30 à 35 % du poids sec de la graine (NEUKOM, 1988).

- La radicule ou l'embryon : Elle représente entre 15 et 30 % du poids sec de la graine (Neukom, 1988). Celle-ci possède une valeur énergétique élevée due à son taux important de protéines principalement solubles dans l'eau et de lipides majoritairement insaturés. Elle est employée pour la nutrition du bétail et comme aliment diététique (DAKIA *et al.*, 2007).
- L'endosperme : se trouve entre le tégument et la radicule. Il représente 40 à 50 % du poids de la graine et constitue la matière de base utilisée dans la fabrication de la gomme de caroube (NEUKO, 1988). Ils agissent de polysaccharides de réserve que l'on retrouve dans l'endosperme de nombreuses graines de plantes légumineuses dont celles de caroube. Ces polysaccharides sont appelés galactomannanes (DAAS *et al.*, 2000).

III-2-3-Utilisation de caroube :

Le caroubier est un arbre d'importance écologique, industrielle et ornementale indiscutable. En termes de produits, l'arbre et toutes ses composantes (feuilles, fleurs, fruits, graines, bois, Écorces et racine) sont utiles et ont des valeurs dans plusieurs domaines (AAFI, 1996). La farine issue de pulpe peut servir comme ingrédient de certains menus de pâtisseries: gâteau, pain, bonbon, crème glacée, boisson (VIDAL, 1985) ou utiliser comme substituant du cacao dans le chocolat, car elle est moins calorifique et ne contient ni caféine ni théobromine (WHITESIDE, 1981; CRAIG et NGUYEN, 1984). La farine de la caroube joue un rôle effectif dans la suppression des parasites intestinaux (MIN et HART 2003). L'utilisation possible dans l'industrie alimentaire, de polyphénol antioxydant contenu naturellement dans l'enveloppe tégumentaire a soulevé d'énormes intérêts au même titre que la production industrielle de gomme de caroube (BATISTA *et al.*, 1996 ; MAKRIS et KAFALAS, 2004).

Etude bibliographique

La gomme issue de l'endosperme constitue le 1/3 du poids total de graine et 100kg de graines produisent en moyenne 20kg de gomme pure et sèche (JONES, 1953). Cette gomme mucilagineuse est utilisée dans plusieurs produits commerciaux comme agent stabilisateur, épaississeur, agglomérant et gélifiant (BATLLE, 1997). En plus, elle est utilisée en industrie alimentaire pour la fabrication d'un grand nombre de denrées alimentaires: crème glacée, soupe, sauce, biscuit, tourte, confiserie, produits de boulangerie et nourriture des animaux. (TOUS et BATLLE, 1990).

III-3- Févier d'Amérique :

III-3-1-Généralité sur le Févier d'Amérique "*Gleditsia triacanthos*":

Le févier d'Amérique, févier épineux ou Carouge à miel, "*Gleditsia triacanthos*" est un grand arbre, appartient au genre de la famille des *fabacées (légumineuses)*, sous famille des *Caesalpinoïdeae*, occupe les régions tempérées et subtropicales du continent Américain et quelques parties de l'Afrique et de l'Asie, originaire de l'Est de l'Amérique de Nord (ORWA et al., 2009).

Appelé "*Gleditsia*" au botaniste allemand **j. Gottlieb Gleditsch** (1714-1786), directeur de jardin botanique de Berlin (ANTONIO CHARLES, 2009). *Triacanthos* vient du grec 'treis' trois et 'akantha' épine (ORWA et al., 2009). Ce genre comprend une douzaine d'espèces. Il a été introduit en Angleterre vers 1700 par " *Bishop Compton*" au jardin de Fulham. Planté en Europe comme arbre de décoration, supportant bien la pollution atmosphérique, mais aussi pour former des haies basses épineuses. Il existe une variété sans épine ou inerme. Selon le climat et le sol, il existe plusieurs variétés de *Gleditsia* ; il se développe mieux dans les régions humides et subhumides, atteint jusqu'à 760 m de hauteur et 1500 m au niveau de la mer, plus de 2500 m dans les montagnes subtropicales, résiste à la sécheresse et la salinité (ORWA et al., 2009).

Le févier d'Amérique, ou honeylocust (en anglais) est originaire du centre des États-Unis, en gros le Bassin du Mississippi, de puis les Grands Lacs jusqu'au Golfe du Mexique. En outre l'arbre a été naturalisé dans la moitié Est des États-Unis à climat plus rigoureux (ROGER PUTOD, 1982)

Tableau 2: présentation de la plante étudiée « le févier d'amériques »

	Classe	Magnoliopsida-dicotylédones (APG III, 2009).
--	--------	--

Etude bibliographique

Taxonomie	Famille	Fabacées (légumineuses) CEREZO, 1970 ; EDWARD Fet al., 1993)
	Sous famille	Caesalpinieaceae
	Genre	Gléditsia
	Espèce	<i>Gléditsiatriacanthos</i> variété inermes (EDWARD. F et al., 1993)
Caractères botanique	Feuilles 	atteignant souvent 25 m d'altitude, caractérisé par un tronc et des branches longues, et des épines fortes jusqu'à 15 cm de longueur. Ses feuilles sont pennées ou bipennées, elles prennent jusqu'à 20 cm de longueur, avec 5 à 30 paires de folioles (CSURHES et al., 2010)
	Rameux	Solides à écorce brune violacée ; mince, sensible au gibier, son bois dur est très durable, On l'utilise pour faire des poteaux, des traverses de chemin de fer, parfois des meubles (EDWARD. F et al., 1993).
	Fleurs 	sont jaune-verdâtre, généralement discrète et très parfumée. (CSURHES et al., 2010).
	Fruit (Gousses) 	forme de faucille et jusqu'à 45 cm de longueur. Chaque cabosse contient entre 15 et 30 graines, qui sont entourés par une pulpe sucrée très importante.
	Graines 	de forme aplatie, ovoïde, brune et d'environ 10 mm de longueur. (CSURHES et al., 2010) .
	Ecorce	L'écorce est marquée de crevasses et prend une couleur plus foncée en hiver.



Figure 2 :Arbre du *Gléditsia triacanthos* (Photo originale)

III-3-2-Composition physico-chimique de *Gléditsiatriacanthos* :

Selon (**MAZZINI et CEREZO, 1979**) les graines de *gléditsiatriacanthos* sont composées de trois parties :

- **Tégument** (27%) composé principalement de glucide.
- **Embryon** :(29 %) composé surtout de protéines.
- **Endosperme**(34%) : riche en galactomannane avec différent rapport (Man : Gal) avec une quantité importante de protéines.

III-3-3-Utilisation de *gleditsia triacanthos* :

D'après **ORWA et al.,(2009)** le févier d'Amérique est cultivé depuis longtemps pour divers usages :

- Son bois brun rougeâtre est dur, facile à travailler est utilisé pour faire des poteaux, des traverses de chemin de fer, parfois des meubles.
- Les feuilles sont très riche en protéines sert de fourrage en Afrique, Amérique du Sud et Australie.
- Les gousses fraîches riches en pulpe sont données au bétail servent de colorant à l'industrie textile et de médicaments pour soigner les maladies pulmonaires en Afrique du Sud.

Etude bibliographique

- Les graines étaient torréfiées pour utiliser comme un succédané de café.

Les graines de *Glédistriacanthos* ont été utilisées comme source de galactomannane, matières premières pour la production des films comestibles. (CERQUEIRA et al., 2011^b).

Matériel et Méthodes :

I-Matière première végétale :

La présente étude est composée de trois parties : la première partie porte sur l'étude comparative de deux galactomannanes purifiés extraits à partir des graines de deux types de légumineuses, à savoir : *Gleditsia triacanthos* et *Cératoniasiliqua* et de deux galactomannanes brutes contenues dans les deux poudres des graines (l'endosperme de caroube et le tégument de *Gleditsia triacanthos*), la deuxième partie consiste à leur caractérisations partielles , alors que la troisième partie a pour objectif de faire plusieurs applications avec les quatre polysaccharides obtenues.

Les graines de *Gleditsia triacanthos* et de *Cératoniasiliqua*, sont récupérées des gousses, qui ont été récoltées dans la région de Boumerdes, durant la période allant du mois de Décembre au mois de mars de l'année 2017. Les différents constituants de la graine (L'endosperme pour les Caroubes et les téguments pour *G. triacanthos*) sont séparés et conservés à température ambiante, dans des bocaux en verre, et dans un milieu sec jusqu'à leurs utilisations.

II-Obtention des poudres de caroube et de gleditsia triacanthos :

La séparation des constituants des graines a été fait selon le principe de gonflement dans l'eau distillée selon la méthode directe par **SCIARINI et al ,(2009)**. Les principales étapes de la séparation sont représentées par les figures ci-dessous.



Figure 3: Photo de différents constituants de *Gleditsia triacanthos*
A : Tégument, B : Endosperme



Figure 4: Photos d'obtention de différents constituants de caroube
A : Endosperme, B : Tégument, C : Embryon

Le diagramme suivant représente les étapes utilisées pour obtenir les différents constituants des graines :

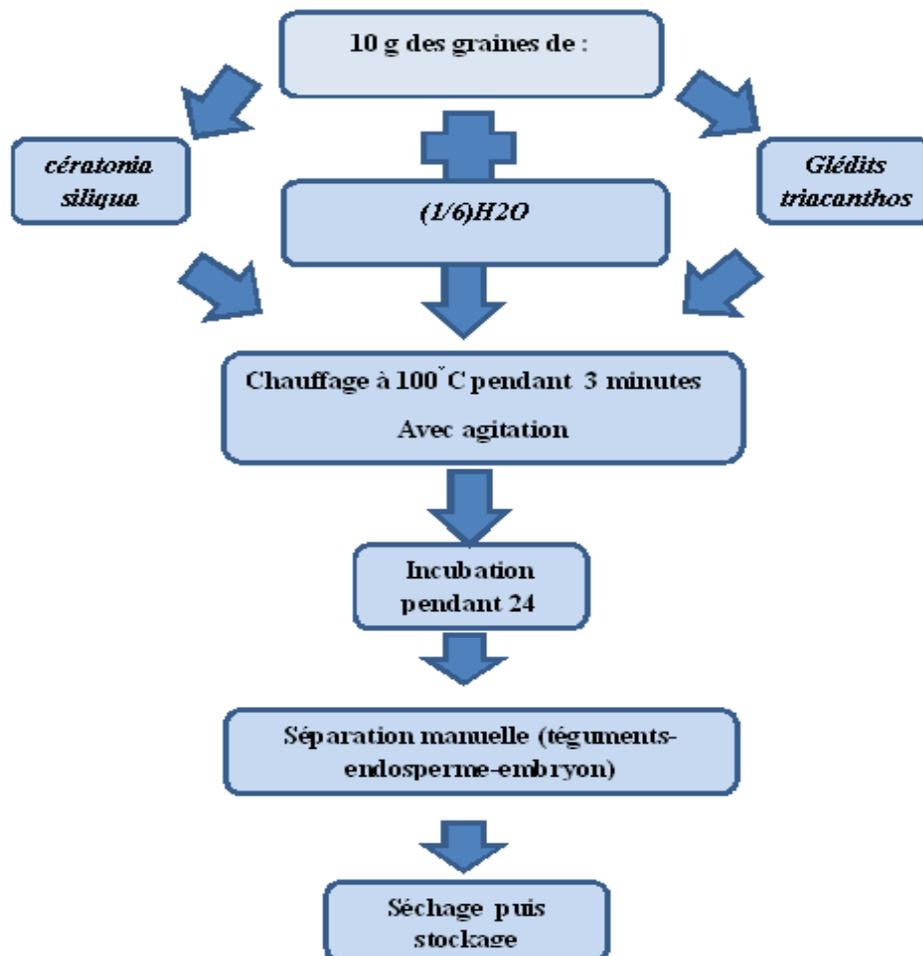


Figure 5 : étapes d'obtention des constituants des graines de Gleditsia triacanthos et de caroube (SCIARINI et al ., 2009).

III- Extraction et purification des galactomannanes :

Les galactomannanes sont isolés à partir des graines des fabacées (*Gleditsia triacanthos*, Caroube), l'extraction des galactomannanes est faite selon la méthode décrite par CERQUEIRA *et al.*, 2010 (figure) où on a apporté plusieurs modifications dans la but d'améliorer le rendement en polysaccharides (figure ...)

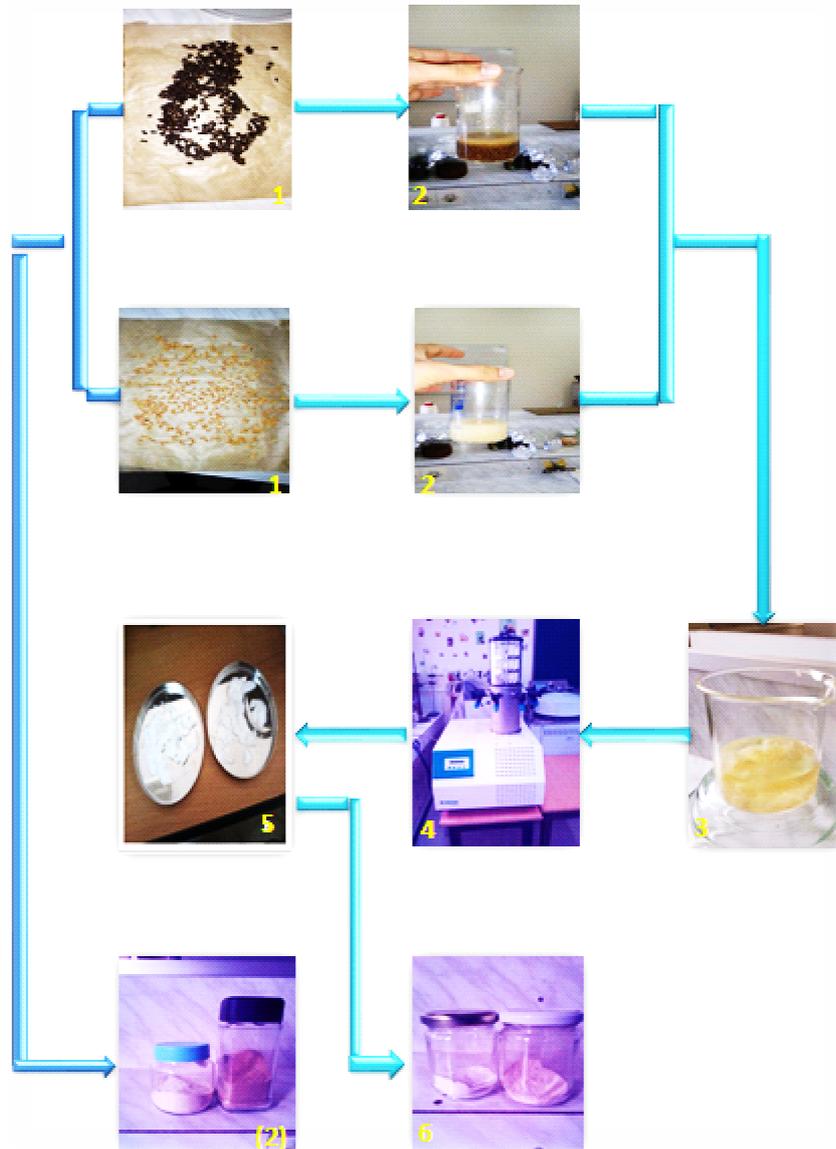


Figure 6 : Photos des étapes d'extractions des galactomannanes purifiées et galactomannanes brutes (poudre de téguments et d'endosperme)

1 : tégument de *gleditsia triacanthos* et endosperme de caroube, 2 : extraction des galactomannanes purifiées, 3 : galactomannanes sol gel, 4 : Lyophilisation, 5 : galactomannanes lyophilisés, 6 : galactomannanes purifiées, (2) galactomannanes brutes.

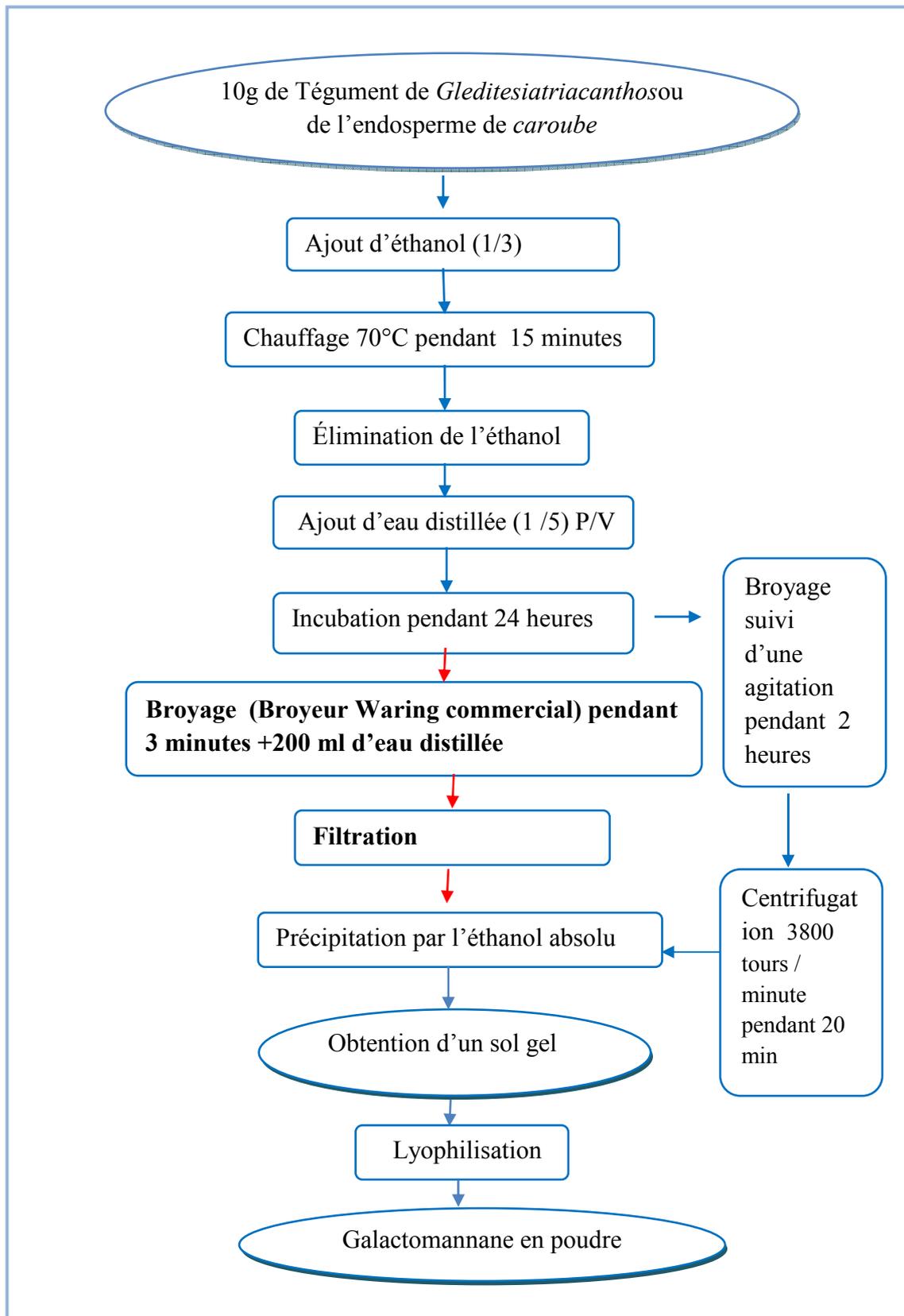


Figure 7 : Étapes d'obtention des galactomannanes (CERQUEIRA et al., 2010)
Modifié en gras par nous soi (MALOUADJMI .S et TALEB .H.E)

III-1- Rendement en galactomannanes

Le rendement en galactomannanes est calculé par le rapport entre le poids de gel lyophilisé et le poids initial de tégument des graines de *G. triacanthos* et ou d'endosperme des graines de Caroube à l'aide de la formule suivante :

$$R = P2 / P1 * 100$$

Où :

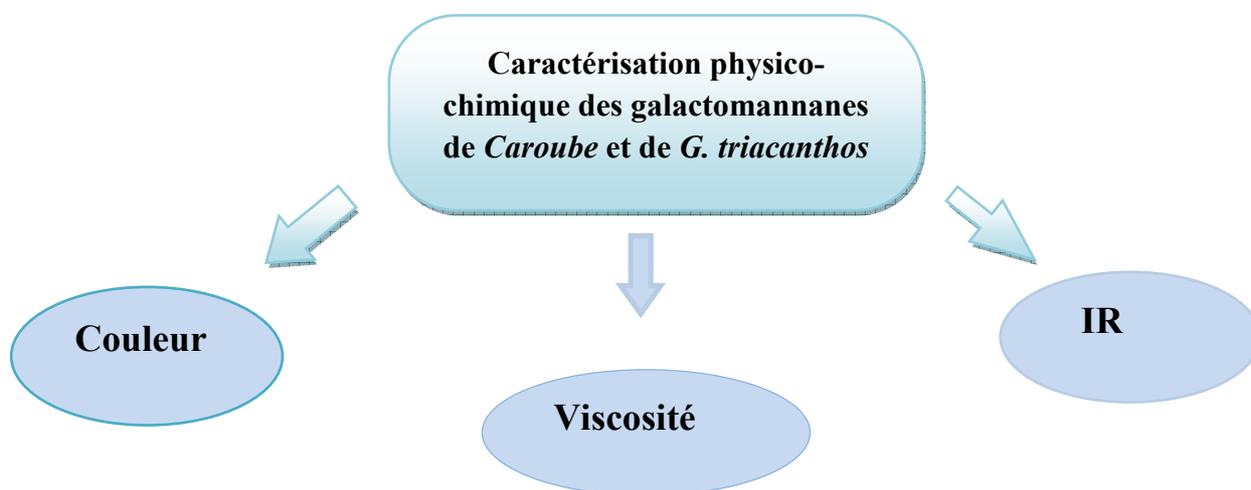
R : Rendement en galactomannanes.

P1: Poids initial (en g) de tégument des graines de *G. triacanthos* ou de l'endosperme des Graines de Caroube.

P2: Poids (en g) du gel lyophilisé.

III-2- Caractérisation physico-chimique des galactomannanes brutes et des galactomannanes purifiés :

La caractérisation des polysaccharides est portée sur les analyses représentées sur le diagramme suivant :



III-2-1-Détermination de la couleur de la poudre des polysaccharides brutes et purifiés obtenus :

La couleur des poudres a été déterminée par un colorimètre dans l'espace CIELAB ($L^*a^*b^*$). En suivant la méthode décrite par **KIVRAK et al., (2015)**. Cet espace est l'un des espaces de

couleurs uniformes défini par la commission internationale de l'éclairage (CIE) et représente étroitement la sensibilité de l'œil humain.

L* : Représente la luminance du blanc (0) au noir (100).

a* : L'indice chromatique du vert (-60) au rouge (+60).

b* : Celui du bleu (-60) au jaune (+60).

III-2-2-Analyse infrarouge des poudres des galactomannanes obtenus :

Principe :

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau analysé. Elle permet via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques et d'effectuer l'analyse des fonctions chimiques présentes dans le matériau.

Les spectres d'absorption Infrarouge (IR) en phase solide ont été enregistrés à l'aide d'un spectrophotomètre Infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) type *Nicolet Is10, ATR (Zn Se)*. Le domaine d'absorption des rayonnements de nombres d'ondes comprises entre 4000 et 400 cm^{-1} , ce qui permet de révéler la présence de certains groupements fonctionnels caractéristiques. Cette analyse a été réalisée au niveau de laboratoire de recherche de la faculté des sciences (FS), Université de Boumerdes.

III-2-3-Viscosité :

Principe :

La viscosité dynamique des solutions aqueuses des quatre polysaccharides obtenues ainsi que des polysaccharides commerciales à température ambiante a été mesurée à l'aide d'un viscosimètre type (*FUNGILAB visco basic plus*)

On a utilisé cette analyse pour déterminer les différents rapports des polysaccharides obtenus et commerciales pour calculer les quantités utilisés dans la production de boisson de citron (voir partie application).

Mode opératoire :

Préparer des solutions de 1% de chaque poudre (galactomannanes brutes, galactomannanes purifiés, CMC, Xanthan). Utiliser la tige R7 pour déterminer la viscosité des solutions précédentes.

IV- Application technologique :

Dans cette partie on a essayé de faire trois applications dans différents produits (la gelée,boisson de citron et le gel denappage), on vise l'étude de la possibilité de remplacer les polysaccharides synthétiques par les galactomannanes obtenus.

IV- 1-Préparation de la Gellée :

Dans cette partie de travail, on procède des essais d'incorporation des galactomannanes brutes et purifiés dans la gelée avec différentes proportions dans le but d'évaluer leur aptitude technologique et leur pouvoir à remplacer la pectine. Cette étude a été effectuée au niveau de l'unité SOBCO (Palmary)

La gelée est préparée à base des ingrédients suivants : glucose,sucre, glycérine, l'eau, acide citrique, polysaccharide (pectine, farine de gleditsia, farine de caroube, GM gleditsia, GM caroube).

IV-2- Préparation de la boisson citronnée :

Dans cette partie du travail, on a réalisé des essais d'incorporation des galactomannanes purifiés et/ou brutes dans la boisson citronnée avec différentes proportions dans le but d'évaluer leur pouvoir à remplacer le CMC, ou le Xanthane, seul ou en synergique. L'étude est suivie de la comparaison de quelques propriétés physico-chimiques des boissons préparées (viscosité, °Brix et le pH).

Nous avons mesuré la viscosité des échantillons énumérés dans le tableau pour voir les rapports que prendront notre expérience prochaines, et les résultats sont les suivants

Tableau 3: viscosité des solutions préparées à 1% dans l'eau distillée :

Viscosité (mPa.s)	CMC	Xanthan	GM caroube	GM gleditsia	Poudre Caroube	Poudre gleditsia
	211,1	401	73,6	107	62	63,4
Par rapport xanthane	-	-	5,5	3,74	6,46	6,32
Par rapport CMC	-	-	2,86	1,97	3,40	3,32

Matériel et Méthodes

CMC = viscosité (CMC) / viscosité (GM .C, GM .GT, P.C, P .GT)

Xanthane = viscosité (Xanthane)/ viscosité (GM .C, GM .GT, P.C, P .GT)

Pour cette étude, la boisson obtenue est répartie en treize échantillons différents :

Tableau 4: Composition des boissons en polysaccharides :

Géifiions n° Echantillons	xanthane	CMC	GM C	GM GT	P C	P GT
1	0,1	0,1				
2	0,1		0,55			
3	0,1			0,37		
4	0,1				0,64	
5	0,1					0,63
6		0,1	0,28			
7		0,1		0,2		
8		0,1			0,34	
9		0,1				0,33
10			0,55	0,37		
11					0,64	0,51
12			0,28	0,51		
13					0,51	0,51

IV-3- Préparation des gels de nappage :

Dans cette application, on a essayé de préparer les gels de nappage à l'échelle laboratoire on utilisant la recette donnée par l'unité de production BIO FOUDE.

Un gel de nappage témoin est préparé avec l'amidon modifié.

Mode opératoire :

Dissoudre 70g de sucre et 4g d'acide citrique dans 60ml d'eau et mettre le mélange sous agitation magnétique à 80° c jusqu'à l'obtention d'une solution limpide. Verser le mélange de 70g de sucre et 2g de polysaccharides en maintenant l'agitation jusqu'à dissolution complète.

Analyses rhéologiques (contrainte et viscosité) :

Le rhéomètre est un appareil conçu spécialement pour mesurer les propriétés rhéologiques de la viscosité et le comportement d'un fluide. Les profils de viscosité ont été étudiés à différentes températures afin de déterminer leur comportement d'écoulement et l'influence de la température sur la viscosité apparente.

Les propriétés rhéologiques ont été évaluées à l'aide d'un rhéomètre rotatif (AR 2000).

Cette analyse a été effectuée au niveau de l'Unité de Recherche Matériaux, Procédés et Environnement (URMPE), Université M'HameBougaraBoumerdes.

I-Etude préliminaire des galactomannanes

I-1-Extraction des Galactomannanes

I-1-1-Rendement

Le rendement en galactomannane isolé à partir des graines de *Gleditsiatriacanthos* et de *Ceratoniasiliqua* est représenté dans l'histogramme ci-dessous :

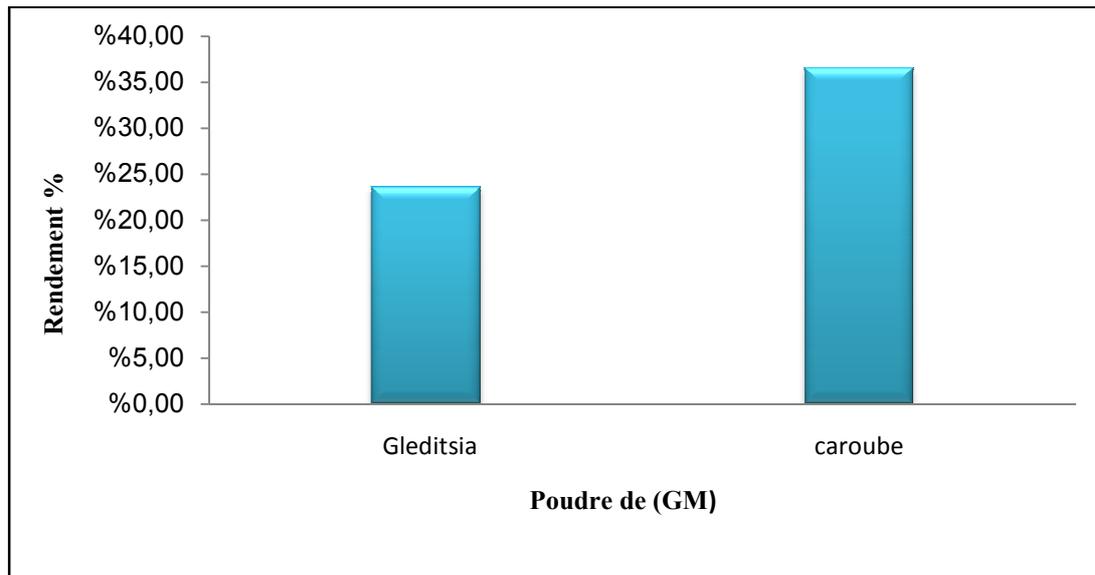


Figure 8 : Histogramme de rendement en galactomannane de deux Légumineuses étudiées.

Le rendement en galactomannane de *Gleditsiatriacanthos* est 23,60% et 36,58% pour la *Caroube*. Ces résultats montrent que les graines de *Ceratoniasiliqua* sont les plus riches en polysaccharide (GM) par rapport aux graines de *gleditsia triacanthosse*. Ces valeurs sont comparables à celle rapportées par **LESCHZINER** et **CEREZO (1970)** dans leurs études sur *Gleditsiatriacanthos*.

I-1-2-Characterisation physico-chimique :

I-1-2-1-Viscosité :

Les valeurs trouvées de la viscosité sont représenté dans le tableau suivant :

Résultats et discussion

Tableau5: Viscosité des solutions préparées à 1% dans l'eau distillée :

Échantillon	xanthan	CMC	GM de Caroube	GM de GT	Poudre de l'endosperme de caroube	Poudre de téguments de GT
Viscosité (mPa .s)	401	211 ,1	73,6	107	62	63,4

D'après les résultats obtenus, on constate que le xanthan possède le pouvoir gélifiant le plus élevé, il est 2 fois plus supérieur à celui des CMC et 4 fois supérieur à celui des galactomannane de GT suivi de la solution des galactomannanes de caroube. On a enregistré aussi des viscosités presque identiques dans les solutions préparées à base des deux farines (l'endosperme de caroube et le tégument de GT).

Par ailleurs, la poudre de l'endosperme de caroube a enregistré une valeur de viscosité proche de celle des galactomannanes de caroube. Ainsi, et pour des intérêts technologiques et économiques il est préférable d'utiliser directement la poudre de l'endosperme de caroube. Par contre chez *Gleditsia triacanthos*, la différence observée (43,6 mPa.s) entre la viscosité des galactomannanes brutes et purifiés est expliquée probablement par la présence de composés insolubles qui gênent le pouvoir gélifiant des poudres brutes.

I-1-2-2-Couleur des galactomannanes brutes et purifiés

La couleur des galactomannanes obtenus est mesurée sur les poudres représentées sur la photo suivante :



Figure 9 : photo de la couleur des poudres : l'endosperme de caroube(A), tégument de gleditsia triacanthos (B), galactomannanes de caroube (D) et de gleditsia (C) (Photo originale).

Résultats et discussion

Les valeurs obtenues de l'analyse de la couleur des poudres et des galactomannanes sont exprimées dans le tableau suivant (**Tableau 6**)

Tableau6: Couleur des échantillons des galactomannanes et de poudre exprimée par le modèle CIE L* a* b*

Échantillons	L*	a*	b*
GM de Caroube	72	+8,6	+6,8
GM de GT	69,2	+11,74	+13,8
Poudre de l'endosperme de caroube	75,5	+1,5	+21,7
Poudre de tégument de GT	49	+7,8	+14,2

D'après les résultats de tableau ci-dessus on constate que : Les valeurs de L* des galactomannanes de *Caroube* et de *Gleditsiatriacanthos* et la poudre de l'endosperme de caroube sont presque similaires (72 et 69,2 et 75,5 respectivement), et qui sont proches de 100 ce qui indique la couleur blanche.

Cependant, on remarque clairement une blancheur un peu plus prononcée pour le galactomannane de *Caroube* alors la valeur la plus faible est observé dans la poudre de tégument de *Gleditsiatriacanthose* (L* égal à 49). La détermination des poudres influence la couleur du produit élaboré. Chez les galactomannanes issus des grains de *G. triacanthos*, on est amené à pratiquer une décoloration selon les exigences technologiques à l'échelle industrielle.

Résultats et discussion

I-1-2-3-Etude de la structure des galactomannanes par analyse infrarouge (FTIR)

D'après les résultats des Spectres FTIR et de tableau de groupements chimiques ci-dessous on constate que : les quatre poudres représente le même allure caractéristique des polysaccharides, ce qui nous permet de confirmer que le composé majoritaire des deux poudres de caroube et de *deglreditsia* est le galactomannane

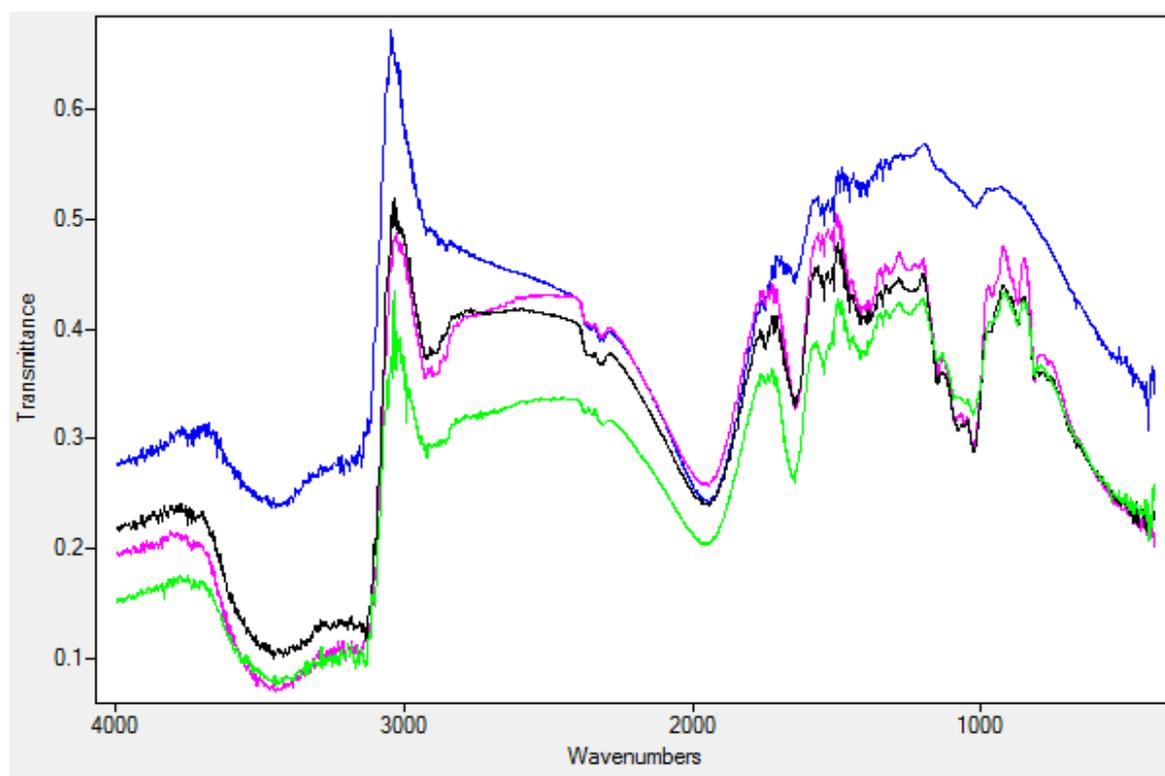


Figure 10 : Spectres IR des poudres et des galactomannanes isolés des graines de *Cératonia siliqua* et de *G. Triacanthos*.

Tableau7: Groupements chimiques des poudres et des galactomannanes analysés par FTIR dans le domaine de fréquence compris entre 400 cm^{-1} et 4000 cm^{-1} .

Paramètres	Nombre d'onde cm^{-1}	Groupement	Intensité et forme
Poudre et GM de Caroube et de <i>G. triacanthos</i>	3452,60	O-H	Forte et large
	2902,73	C-H	Moyenne
	1650,05	C=C	Forte
	1025,70	C-C	Forte

II-Application technologique

II-1-La gelée:

Cette partie vise à étudier l'effet de l'incorporation de galactomannane purifié et brute sur les paramètres qualitatifs ($^{\circ}$ Brix, pH, viscosité) de la gelée *palmary*. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 8** ci-dessous et illustrés par la **figure 11**.



Figure 11: Photo de la gelée (Photo originale) A : Pectine, B : galactomannanes de caroube, C : farine de caroube, D : farine de gladitsia, E : galactomannanes de gleditsia

Tableau 8: Résultats comparatif des analyses physico-chimiques de la gelée .

Echantillon	Pectine	GM. C	GM. GT	P.C	P.GT
Ph	3.55	3.50	3.20	3.32	3.33
$^{\circ}$ Brix	80	82	81	85	80.5
Viscosité (mPa.s)	35104	62587	10986	---	24665

On remarque d'une part que les valeurs obtenues de pH et de $^{\circ}$ Brix sont comparables aux celles de gelée témoin (préparé à base de pectine) et d'autre part concernant les valeurs importantes enregistrées de la viscosité, il reste à déterminer la quantité optimale à utiliser du polysaccharide étudié.

II-2-Incorporation des galactomannanes dans la boisson citronnée :

Cette partie vise à étudier l'effet de l'incorporation de galactomannane purifié et brute sur les paramètres qualitatifs ($^{\circ}$ Brix, pH, viscosité) de la boisson de citron préparé (figure 12).

Résultats et discussion



Figure 12 : Photo de la boisson obtenue (Photo original)

Les résultats des analyses physico-chimiques de la boisson obtenus sont rapportés dans le tableau suivant :

Tableau9: Résultats comparatif des analyses physico-chimiques des boissons obtenus.

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Viscosité (mas)	23,1	18,6	16,5	21,5	20,1	16,5	19,7	13,7	24	22,4	22	22,3	21,4
pH	3,05	3,02	2,96	2,95	2,99	2,93	2,92	2,93	2,93	2,87	2,94	2,88	2,87
Brix°	12,2	12,2	12,4	12,4	12	12,4	11,7	12	12,3	12,5	11,8	12	11,1

1 : Xanthane/CMC, 2 :Xanthane/GM.C, 3 :Xanthane/GM.GT, 4 : Xanthane/P.C

5 : Xanthane/P.GT ,6 : CMC/GM.C,7: CMC/GM.GT, 8 : CMC/P .C, 9 : CMC/P.GT

10(Xantan) :GM.C/GM.GT, 11 (Xantan) :P.C/P.GT ,12(CMC) :GM.C/GM.GT, 13(CMC) :P.C/P.GT

Les résultats enregistrés de pH et de °Brix dans les boissons préparés à base des polysaccharides obtenus sont comparables à celui de la boisson témoin, alors qu' une faible différence de la valeur de viscosité a été enregistré .

A partir des résultats obtenus, on remarque que l'ajout de galactomannanes dans la boisson n'engendre pas une grande variation de qualité de ce dernier, ainsi l'action de

Résultats et discussion

galactomannanes est presque similaire à celle des polysaccharides commerciaux (xanthane, CMC). En effet, l'effet synergique des galactomannanes avec d'autres polysaccharides de nature biologique améliore la qualité des aliments élaborés et consolide l'idée de la consommation des *aliments Bio*.

II-3-La gelée de nappage :

Cette partie vise à étudier l'effet de l'incorporation de galactomannane purifié et brute sur les paramètres qualitatifs ($^{\circ}$ Bri, pH, viscosité) de la gelée de nappage.



Figure 13:la gelée de nappage (photo originale)

Tableau10: Résultats comparatif des analyses physico-chimiques des gels de nappage .

Echantillon	P G	P C	GM G	GM C	Amidon
Ph	3.07	3.04	3.05	2.97	3.01
$^{\circ}$ Brix	72.5	74	75	76.5	72
Viscosité (mPa.s)	485.5	2076.8	775	2274.7	1592.5

D'après les résultats de pH et de $^{\circ}$ Brix enregistrés dans les boissons préparés à base des polysaccharides obtenus sont comparables à celle de la boisson témoin, alors que les valeurs de viscosité les plus faibles ont été données par les gels de nappage préparés à base de polysaccharide brute et purifié de *gleditsiatriacanthos* ce qui n'est pas le cas de la solution galactomannanes préparée dans l'eau distillée à pH neutre.

Donc la viscosité de la solution de galactomannane obtenus à partir de *gleditsiatriacanthos* diminue avec la diminution de pH. Cependant, ce sont des essais répétés qui peuvent confirmer ces observations.

Caractérisation rhéologique des gels de nappage :

Les courbes d'écoulement de la solution des nappages sont représentées par les **figures 14** et **15**. Ces dernières montrent que la viscosité et la contrainte des galactomannanes en solution des échantillons étudiés à une température ambiante varient en fonction de gradient de vitesse (taux de cisaillement), ce qui caractérise les fluides rhéofluidifiants ou pseudo plastiques.

Au vu des résultats, la contrainte augmente quand le taux de cisaillement augmente. Par contre la viscosité est inversement proportionnelle au taux de cisaillement. Par conséquent, on peut conclure que les gelées de nappages préparées possèdent un comportement typiquement pseudo-plastique.

Il faut toutefois remarquer que la viscosité et la contrainte chez la gelée préparée à base de galactomannanes brute et purifiés de *gleditsiatriacanthos* présentent un écart de valeur par rapport aux autres gelées de nappage ce qui confirme les résultats précédentes comparativement aux gels de nappages de caroube où les mêmes allures ont été obtenues par rapport au nappage témoin (gelée de nappage à base de l'amidon modifié).

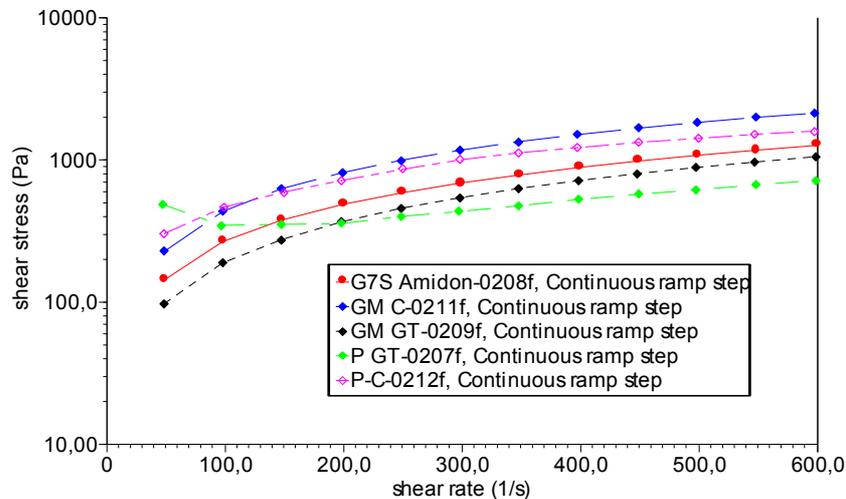


Figure14: Contrainte des gelées de nappage préparés

Résultats et discussion

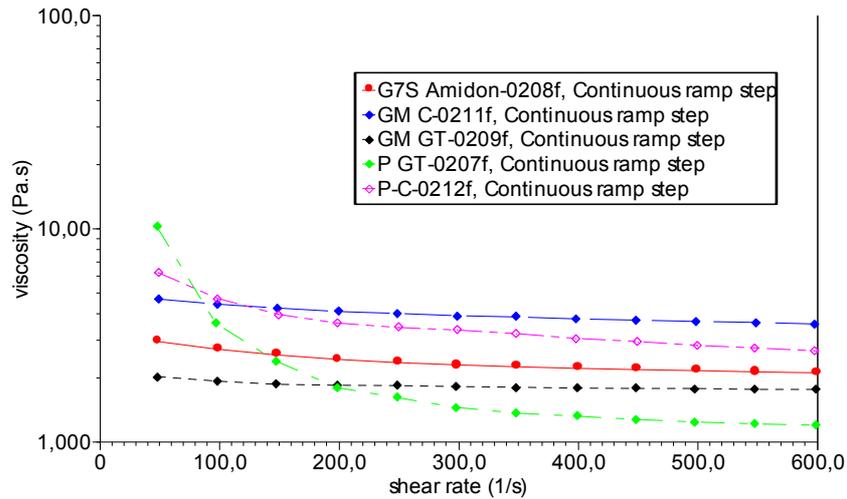


Figure15: viscosité des gélées de nappage préparé

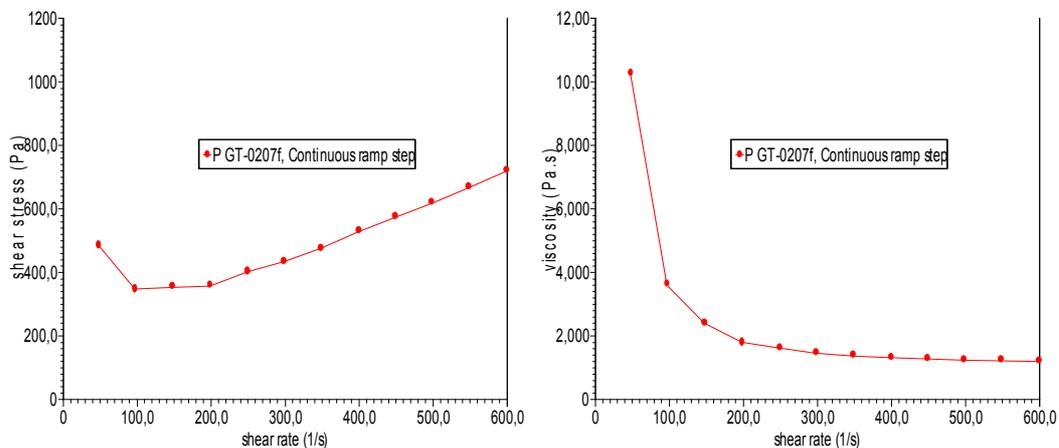


Figure 16: Contrainte et viscosité de gel de nappage préparé (P.GT)

Pour confirmer l'allure hétérogène de la vitesse de la viscosité et du cisaillement de la poudre de Gleditsia, les **figures 16** montrent clairement cette différence par rapport aux autres polysaccharides particulièrement au début du cisaillement où la viscosité est la plus élevée. La chute rapide du pouvoir gélifiant après un temps d'action peut être expliquée par le milieu acide généré par l'ajout d'acide citrique qui atteint des pH de 3. Il convient d'affirmer que les galactomannanes issus des graines de gleditsia peuvent avoir d'autres applications intéressantes en milieu neutre afin de préserver son fort pouvoir gélifiant.

Conclusion et perspective

Conclusion générale et perspectives :

Ce travail a porté sur l'extraction, la caractérisation et l'incorporation des galactomannanes brutes et purifiés dans différents produits alimentaires.

Les objectifs initiaux étaient d'étudier la possibilité de remplacer les polysaccharides synthétiques à savoir la pectine, le CMC et le xanthan par les galactomannanes obtenus et d'évaluer la qualité de produit fini dans le but d'obtenir des aliments bio et de meilleure qualité.

Dans la première partie de cette étude, nous avons obtenu des poudres purifiées des galactomannanes plus au moins blanches ainsi que des polysaccharides brutes représentés par des farines d'endosperme de caroube et des téguments de *Gleditsia triacanthos*. Ces essais nous ont permis d'enregistrer une amélioration importante des rendements comparativement aux études antérieures.

La caractérisation des galactomannanes purifiés a donné des résultats similaires à ceux des galactomannanes brutes ce qui confirme que la poudre de l'endosperme de caroube et de tégument de *Gleditsia* sont constituées principalement de polysaccharides dont l'intérêt technologique dans les futures applications est certain.

En effet, les résultats enregistrés de l'amélioration du procédé d'extraction suite à l'élimination de plusieurs étapes dans le procès d'extraction et l'obtention nouveaux produits (galactomannanes brutes) nous permettent à dire que des intérêts économiques considérables peuvent être tires.

L'incorporation des galactomannanes obtenus dans les gels de nappage, la gelée et dans la boisson de citron n'affecte pas la qualité de produits fini et reste seulement à optimiser les quantités de polysaccharide à utiliser.

Cette étude ouvre de perspectives intéressantes concernant les galactomannanes obtenus :

- ❖ Une étude détaillée sur la composition des galactomannanes brutes pour une meilleure connaissance de leur utilisation
- ❖ Optimisation des protocoles d'incorporation des galactomannanes dans différents produits (quantité de polysaccharide utilisé, pH du milieu, ...)

Conclusion et perspective

- ❖ Evaluation des propriétés thérapeutiques des graines de ces deux légumineuses pour affirmer leur utilisation.
- ❖ Exploiter l'utilisation des galactomannanes dans le domaine non alimentaire (pharmaceutique, cosmétique..).

Références bibliographiques

- AAFI A. (1996)**, Note technique sur le caroubier (*Ceratoniasiliqua*L.), Centre
- ANTONIO CHARLES, 2009.** Botany155 / Meicenheimer :Honeylocust Tree – Scientific Name: *Gleditsia triacanthos* ; <http://www.hiltonpond.org/ThisWeek021108.html>.
- AIT CHITT M., BELMIR M. ET LAZRAK A., (2007)**, Production des plantes sélectionnées et greffées du caroubier. Transfert de technologie en Agriculture, N°153, IAV Rabat, pp.1-4.
- AYALA G G., MALINCONICO M., ET LAURIENZO P., 2008.-** Marine derived polysaccharides for biomedical applications: chemical modification of roaches. *Molecules*, vol.13: 2069-2106
- AZERO E.G. & ANDRADE C.T., 2002.** Testing procedures for galactomannan purification. *Polymer Testing*, 21(5), 551-556.
- BATLLE I., TOUS J., (1997)**, Carob tree *Ceratoniasiliqua*L., Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17, Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Rome: International Plant Genetic Resources Institute, pp. 92.
- BATISTA M. T., AMARAL M. T. AND PROENÇA DA CUNHA A. (1996).** Carob fruits as source of natural antioxidant. *In* Proceeding of the III International Carob Symposium. Cabanas-Tavira, Portugal
- BOLONOS M. (1955).** Rapport sur le caroubier. Instituto forestal de Investigaciones y experiencias Madrid (Espagne) 9p.
- BOUZOUITA, N., KHALDI, A., ZGOULLI, S., CHEBIL, L., CHEKKI, R., CHAABOUNI, M.M., THONART, P., 2007.** The analysis of crude and purified locust bean gum: a comparison of samples from different carob tree populations in Tunisia. *Food Chemistry* 101,
- BUCKERIDGE M. S, SANTOS H. P. D., TINE M. A. S., 2000.-** Mobilisation of storage cell wall polysaccharides in seeds. *Plant Physiol Biochem*, Elsevier, vol.38 (1/2):141–156.
- CAI J., MANA J., HUANGA J., LIU Q., WEIC W. and WEI C., 2015-** Relationship between structure and functional properties of normal rice starches with different amylose contents. *Carbohydrate Polymers*, vol. 125: 35-44.
- CHIRAZ 2012.** Les polysaccharides de plantes : Les galactomannanes, médecine et santé, Réseau savoir.fr
- CUMMINGS J. and STEPHEN A., 2007-** Carbohydrate terminology and classification. *European Journal of Clinical Nutrition*, vol. 61, S5-S18

Références bibliographiques

- CRAIG W. J. AND NGUYEN T. T. (1984).** Caffeine and theobromine level in cacao and carob products. *J. Food Sci.* 49:302-305.
- DAKIA P.A. et al., 2008.** Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment. *Food Hydrocolloids*, 22(5), 807-818.
- DAKIA, P.A., WATHELET, B. AND PAQUOT, M. (2007)** Isolation and Chemical Evaluation of Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Seed Germ. *Food Chemistry*, 102, 1368-1374
- DAKIA A. P., WATHELET B. & PAQUOT M. (2010).** Influence de la teneur en galactose sur les interactions moléculaires et sur les propriétés physico-chimiques des galactomannanes en solution. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 14 (1) 313-223.
- DA SILVA J.A.L. & GONÇALVES M.P., 1990.** Studies on a purification method for locust bean gum by precipitation with isopropanol. *Food Hydrocolloids*, 4, 277-287.
- DEA I.C.M. & MORRISON A., 1975.** Chemistry and interactions of seed galactomannans. *Adv. Carbohydr. Chem. Biochem.*, 31, 241-242.
- DELATTRE C., 2005.-** Stratégie d'obtention d'oligosaccharides anioniques par dégradation enzymatique de glucuronanes. Thèse de doctorat, université de Picardie Jules Verne, Valois Santerre, 172p
- EDWARD F. GILMAN AND DENNIS G. WATSON 1993:** *Gleditsia triacanthos* var. *inermis* Thornless Honeylocust.
- FADEL .F, S. FATTOUCH , S. TAHROUCH , R. LAHMAR , A. BENDDOU , A. HATIMI, (2011):** The phenolic compounds of *Ceratonia siliqua* pulps and seeds. *J. Mater. Environ. Sci.* 285-292 .ISSN : 2028-2508
- FOX J.E., 1992.** Seed gums. In: Imeson A., ed. *Thickening and gelling agents for food*. London: Blackie Academic and Professional
- GARTI N., MADAR Z., ASERIN A. & STERNHEIM B., 1997.** Fenugreek galactomannans as food emulsifiers. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 30(3), 305-311
- GARCIA-OCHOA F. & CASAS J.A., 1992.** Viscosity of locust bean (*Ceratonia siliqua*) gum solutions. *J. Sci. Food Agric.*, 59, 97-100
- GOYCOOLA F.M., MORRIS E.R. & GIDLEY M.J., 1995.** Viscosity of galactomannans at alkaline and neutral pH: evidence of "hyperentanglement" in solution. *Carbohydr. Polym.*, 27, 69-71
- JONES D. K. (1953).** Carob culture in Cyprus. FAO 53/2/1225.FOA. Rome. 1508-1515.

Références bibliographiques

- KIVRAK N.EDA,B. AŞKIN, ERDOGAN K, (2015).**Comparison of Some Physicochemical Properties of Locust Bean Seeds Gum Extracted by Acid and Water pretreatments.
- KOK, M. S., HILL, S. E., & MITCHELL, J. R. (1999).**Viscosity of galactomannans during high temperature processing: Influence of degradation and solubilisation. *Food Hydrocolloids*, 13, 535–542
- MAIER H. et al., 1993.** Guar, locust bean, tara and fenugreek gums. *In: Whistler R.L. & BEMILLER J.N., eds. Industrial gums, polysaccharides and their derivatives.* San Diego, CA, USA: Academic Press, 205-215
- MAKRIS D. P. AND KEFALAS P. (2004).** Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as a source of polyphenolic antioxidant. *Food Technol. Biotechnol.* 42: 105- 108
- LOTRAKUL P., DEENARN P., PRASONGSUK S. and PUNNAPAYAK H., 2009-** Isolation of *Aureobasidium pullulans* from bathroom surfaces and their antifungal activity against some Aspergilli. *African Journal of Microbiology Research*, Vol. 3: 253-257.
- MAO C.-F. & CHEN J.-C., 2006.** Interchain association of locust bean gum in sucrose solutions: an interpretation based on thixotropic behavior. *Food Hydrocolloids*, 20(5), 730-739
- MAZZINI, M. N., & CEREZO, A. S. (1979).** The carbohydrate and protein composition of the endosperm, embryo and testa of the seed of *Gleditsia triacanthos*. *Journal of Science Food Agriculture*, 30(9), 881–891.
- MCCLEARY B.V., 1988.** Carob and guar galactomannans. *Methods Enzymol.*, 160, 523-527.
- MCCLEARY B.V., CLARK A.H., DEA I.C.M. & REES D.A., (1985).** The fine structures of carob and guar galactomannans. *Carbohydr. Res.*, 139, 237-260.
- MIN B. R. AND HART S. P. (2003).** Tannins for suppression of intestinal parasites. *J. Anim. Sci.* 81:102-109
- MULTON J.L., (1984).** Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires. Paris: Lavoisier
- NEUKOM H. (1988).** Carob bean gum: properties and application. Pp. 551- 555 in *Proceedings of the II International Carob Symposium* (P. Fito and A. Mulet, eds.). Valencia, Spain
- ORWA C, A MUTUA, KINDT. R, JAMNADASSR,SANTHONY. (2009).** Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0
- PALANIRAJ A. and JAYARAMAN V., 2011-** Production, recovery and applications of xanthan gum by *Xanthomonas campestris*. *Journal of Food Engineering*, vol. 106: 1-12

Références bibliographiques

(<http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp>).

PATMORE J.V., GOFF H.D. & FANDES S., (2003). Cryo-gelation of galactomannans in ice cream model systems. *Food Hydrocolloids*, 17(2), 161-169

PETIT M. D. & PINILLA J. M., (1995). Production and Purification of a Sugar Pods Syrup from Carob Pods *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 28, 145-152

POLLARD M. A., KELLY R., WAHL C., WINDHAB E., EDER B., AND AMADO R. (2007). Investigation of equilibrium solubility of a carob galactomannan. *Food Hydrocolloids*, 21(5–6), 683–692

QUEZEL P et SANTA S (1962), Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (tome1), Editions du centre national de la recherche scientifique, pp.557

REJEB N.M., 1995. *Le caroubier en Tunisie : situation et perspectives d'amélioration.* Paris : Centre de Recherches du Génie Rural.

RIZZO V., TOMASELLI F., GENTILE A., LA MALFA S., AND MACCARONE E. (2004). Rheological properties and sugar composition of locust bean gum from different carob varieties (*Ceratonia siliqua* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(26), 7925–7930

RICHARDSON P.H., WILLMER J. & FOSTER T.J., 1998. Dilute properties of guar and locust bean gum in sucrose solutions. *Food Hydrocolloids*, 12, 339-348

ROGER O., 2002.- Etude d'oligosaccharides bioactifs issus d'exopolysaccharides bactériens: obtention, caractérisation et relation structure/fonction. Thèse de Doctorat, université de Paris 13. 195p.

ROGER PUTOD, (1 982) . Les arbres fourragers le, fevier. *forétméditerranéenne.t.iv.no* 1.1982. P39

SCIARINI .L.S, F. MALDONADOB, P.D. RIBOTTA, B, G.T. PEREZA, A.E. LEONA (2009) .(Chemical composition and functional properties of *Gleditsia triacanthos* gum ;*Food Hydrocolloids* 23 306–313.μ

SINGH R. D., BANERJEE J., ARORA A., 2015.- Prebiotic potential of oligosaccharides: A focus on xylan derived oligosaccharides. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, vol.5: 19-30.

SINGH R. S., SAINI G. K. and KENNEDY J. F., 2008- Pullulan: microbial sources, production and applications. *Carb.Poly.*, vol. 73: 515-531.

Références bibliographiques

VERSPREET J., DORNEZ E., VAN DEN ENDE W., DELCOUR J. A. and COURTIN C. M., 2015- Cereal grain fructans: Structure, variability and potential health effects. Trends in Food Science

WARRANT J., 2004.- Etude structurale et propriétés en solution des polysaccharides constitutifs de mucilage de lin (*Linum usitatissimum*). Thèse de Doctorat, Université de Picardie Jules Verne, 238 p.

WEINMAN S. et MEHUL P., 2004- TOUTE LA BIOCHIMIE. Ed. DUNOD. 466p

WHITESIDE L. (1981).The carob cookbook. Ed. Thorsons Publishers Limited, Wellingborough. Northamptonshire

ZHANG A. Q., ZHANG Y., YANG J., JIANG J., HUANG F. F. and SUN P. L., 2013- Structural elucidation of a novel water-soluble fructan isolated from *Wedelia prostrata*. Carbohydrate Research, vol. 376: 24-28 & Technology, vol. 43: 32-42

ZOHRA R. R., AMAN A., ZOHRA R.R., ANSARI A., GHANI M. and UL QADER S. A., 2013- Dextranase: Hyper production of dextran degrading enzyme from newly isolated strain of *Bacillus licheniformis*. Carbohydrate Polymers, vol. 92: 2149-2153