

Chitine et chitosane

Jacques Desbrières

Summary

Chitin and chitosan

Chitin is the second natural polymer available at the earth surface. The chemical structure is composed of N-acetylglucosamine units and the physical structure shows three different forms due to the arrangement of the macromolecular chains. The major problem encountered in the chitin chemistry is its preparation and its extraction to obtain a chitin with characteristics similar to the original polymer (molar mass and acetylation degree). The different treatments used for its extraction are discussed. Chitin is poorly valorised due to difficulties to be processed related to a bad solubilisation. Many derivatives are prepared, particularly chitosan obtained from the deacetylation of chitin. This derivative has the particularity to have amino groups and hence to be a cationic polyelectrolyte, in acidic medium, due to protonation of these groups. The degree of acetylation, the molar mass but also the repartition of N-acetylated units along the macromolecular chain are characteristics of the macromolecular chain. These characteristics allow this polymer to have original properties compared with other polysaccharides which are generally anionic. These properties and applications are discussed, demonstrating the large range of domains in which this polymer may be used.

Mots-clés Key-words

Chitine, chitosane, polysaccharide, structure, propriétés, applications.
Chitin, chitosan, polysaccharide, structure, properties, applications.

En étant une source régénérable d'énergie et un matériau de base pour l'industrie, la biomasse (matériau produit par des êtres vivants) est depuis quelques années d'un grand intérêt pour les scientifiques. La cellulose, le polysaccharide produit par photosynthèse dans les plantes, compose la proportion la plus grande de la biomasse totale (environ 50 %). Le second composé provient d'un autre polysaccharide, la chitine, qui est produite par les animaux marins, les insectes et les champignons.

La chitine

La découverte de la chitine remonte à 1811 lorsque le chercheur français Henry Braconnot a isolé un résidu impur à partir des parois cellulaires des champignons. Il lui a donné le nom de « fungine ». Vers 1823, Odier a extrait à partir de la cuticule de l'exosquelette d'un coléoptère, un produit insoluble. Il le nomma « chitine » (du grec *χιτίνη*, tunique ou enveloppe). Elle a un rôle de structure et de défense dans les organismes vivants. Dans le règne animal, la chitine est un élément de soutien des téguments de certains invertébrés tels les insectes, les mollusques, les crustacés et les nématodes. Elle existe principalement dans les carapaces des crustacés et est souvent associée à des substances organiques telles que les protéines et imprégnée de substances inorganiques telles que des sels de calcium. Au niveau du règne végétal, elle n'est signalée que dans les parois cellulaires de la majorité des champignons et de certaines algues chlorophycées. La chitine est présente également dans certaines levures et bactéries.

La structure chimique de la chitine est un enchaînement de monomères N-acétyl-β-D-glucosamine reliés par une liaison glycosidique (1→4) (figure 1) et la nomenclature définit cette structure comme celle d'un poly[β-(1→4)-2-acétamido-2-déoxy-D-glucopyranose]. Elle est similaire à celle de la cellulose, excepté que les groupements hydroxyle

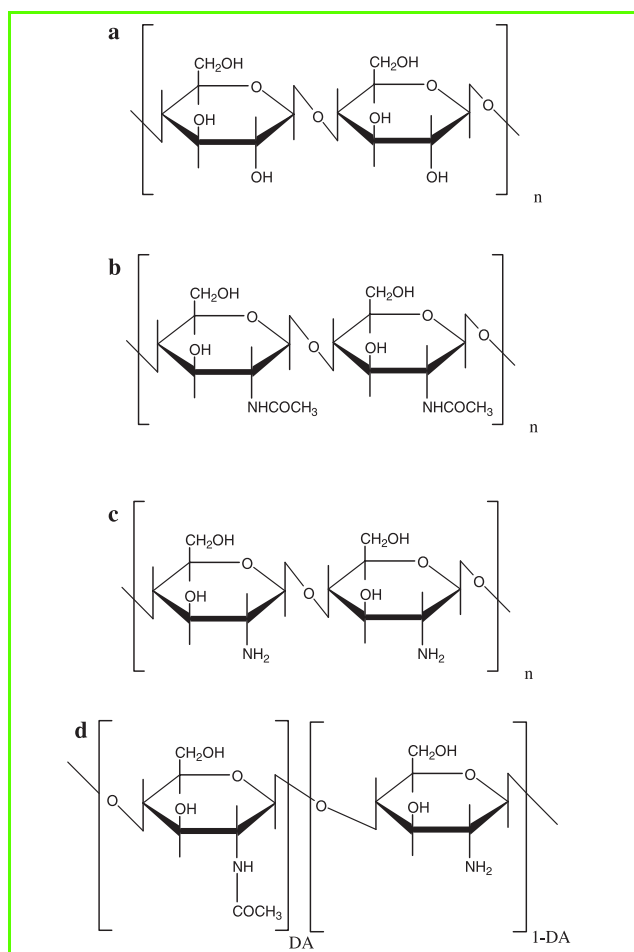


Figure 1 - Structure chimique :
a) de la cellulose ; b) de la chitine parfaite ; c) du chitosane parfait ;
d) réelle des chitines et chitosanes (DA est le degré d'acétylation).

Tableau 1 - Les principales sources de chitine.

SOURCES	SITES DE PRÉSENCE	TENEUR EN CHITINE (%)
CHAMPIGNONS Ascomycètes Basidiomycètes Phycomycètes	Paroi cellulaire Mycélium Tige Spore	2,9 - 20,1(*) (*) par rapport à la masse sèche de la paroi cellulaire
ALGUES Chlorophycées Diatomées marines	Paroi cellulaire	Faible
CNIDAIRES Anthozoaires Hydrozoaires	Capsule d'œufs Membranes internes et médianes	3 - 30
BRACHIOPODES Articulés Inarticulés	Cuticules Cuticules et coquilles	4 - 29
ANNELIDES Polychètes	Soies	0,2 -38
MOLLUSQUES Polyplacophores Gastéropodes Céphalopodes Lamellibranches	Coquille et dents Coquille, dents et plaque stomacale Coquille, plume et dents Coquille	6 - 40
ARTHROPODES Crustacés Insectes Arachnides	Exosquelette, membrane entre les segments, cuticule	2 - 72 (#) (#) par rapport à la masse organique sèche de cuticule
POGONOPHORES	Tubes	33

en position 2 du glucose ont été remplacés par des groupes acétamido. En fait, le terme chitine est donné à tout copolymère, formé d'unités constitutives N-acétyl-D-glucosamine et D-glucosamine, dont le degré d'acétylation (DA), défini comme la fraction molaire d'unités N-acétylées dans la chaîne polymère, est supérieur à 50 % (figure 1).

Le tableau 1 présente les principales sources de chitine. Au contraire de la cellulose provenant des fibres des plantes, la plupart de la biomasse dans laquelle la chitine se trouve n'est pas facilement accessible pour son utilisation. La quantité de chitine provenant des crustacés dans l'environnement marin global est estimée à $1,56 \times 10^6$ t/an. Cette quantité est cependant plus importante que la production totale de chitine et dérivés, estimée à quelques milliers de tonnes, à partir principalement de carapaces de crabes ou de crevettes. Les principaux producteurs sont les États-Unis et le Japon. De nombreux pays (tels que l'Inde par exemple) essaient de produire de la chitine afin de valoriser les déchets de l'industrie agroalimentaire. Ces déchets, s'ils ne sont pas utilisés, sont rejetés en mer et posent de gros problèmes de pollution car les carcasses des arthropodes (crustacés, céphalopodes...) sont très résistantes à la biodégradation. Le problème majeur rencontré dans la chimie de la chitine réside dans sa préparation et son procédé d'extraction pour avoir une chitine avec des caractéristiques semblables à celles de la chitine « native ». De manière générale, l'extraction de la chitine à partir des exosquelettes de différentes sources est axée principalement sur deux traitements :

- L'élimination des éléments minéraux par un traitement acide. Les acides utilisés sont essentiellement HNO_3 ,

H_2SO_4 , CH_3COOH , HCOOH et HCl à des concentrations de 1 à 10 M. Ce dernier est le plus fréquemment employé. La réaction se déroule souvent à température ambiante et la durée de ce traitement acide est variable (de 1 à 48 h).

- L'élimination des protéines par un traitement basique. Les solutions alcalines utilisées sont à base par exemple de Na_2CO_3 , NaHCO_3 , KOH , K_2CO_3 , Ca(OH)_2 , Na_2SO_3 , CaHSO_3 , Na_3PO_4 , Na_2S ou de NaOH qui est d'ailleurs la plus employée. La température et la durée de ces traitements alcalins sont variables ainsi que la concentration du milieu basique utilisé. Le domaine de température est compris entre 25 et 100 °C, la durée entre 0,5 et 72 h et la concentration de l'entité basique entre 0,1 et 5 M.

A la fin de ces deux traitements, il peut subsister des traces de pigments incomplètement éliminés comme les caroténoïdes. On utilise un traitement par des agents oxydants comme KMnO_4 , NaOCl , SO_2 , NaHSO_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ou H_2O_2 .

La biosynthèse de la chitine semble se dérouler de manière analogue chez les insectes et les champignons et selon un mécanisme complexe impliquant un système d'enzymes (figure 2). Des hexokinases vont assurer la phosphorylation du D-glucose, alors que des isomérases vont permettre la transformation du D-glucose-6-phosphate en fructose-6-phosphate. La première étape de la biosynthèse de la chitine proprement dite s'effectue par transamination du D-fructose-6-phosphate pour aboutir à la formation de la glucosamine sous contrôle des aminotransférases.

Ensuite, un acétylcoenzyme cède son groupement acétyle et des phosphoglucosamines transacétylases vont permettre la N-acétylation de la D-glucosamine. L'étape permettant le passage de la N-acétylglucosamine phosphatée à la chitine est contrôlée par des chitines synthétases qui semblent utiliser l'uridine-diphosphate-N-acétylglucosamine (UDPAG) comme donneur de groupement glycosyle. La production naturelle de chitine par biosynthèse est inépuisable et les arthropodes constituent une source de biomasse énorme et importante.

Les chitines rencontrées dans le milieu naturel peuvent différer par la masse molaire, le taux d'acétylation et l'état plus ou moins cristallin. A l'état solide, les chaînes de chitine se présentent sous forme d'hélice avec une unité de répétition d'environ 1,03 nm. Comme dans le cas de la cellulose, chaque unité est constituée de deux résidus. En conséquence des divers arrangements des chaînes, trois formes distinctes de chitine ont été mises en évidence :

- la chitine α : c'est la plus stable et la plus abondante des trois formes. Elle existe principalement dans les exosquelettes des arthropodes (crevettes, crabes par exemple). Ses chaînes macromoléculaires s'arrangent de manière antiparallèle et cristallisent en absence d'eau dans un système orthorhombique contenant deux molécules ;

- la chitine β : elle se trouve essentiellement dans certaines diatomées marines et certains céphalopodes (exemple la plume de calamar). Les chaînes macromoléculaires s'arrangent de manière parallèle dans une maille monoclinique ne contenant qu'une seule molécule. On note la présence d'eau dans le réseau cristallin ;

- la chitine γ ; elle a été identifiée dans la cuticule d'un brachiopode inarticulé. Elle est très peu caractérisée et

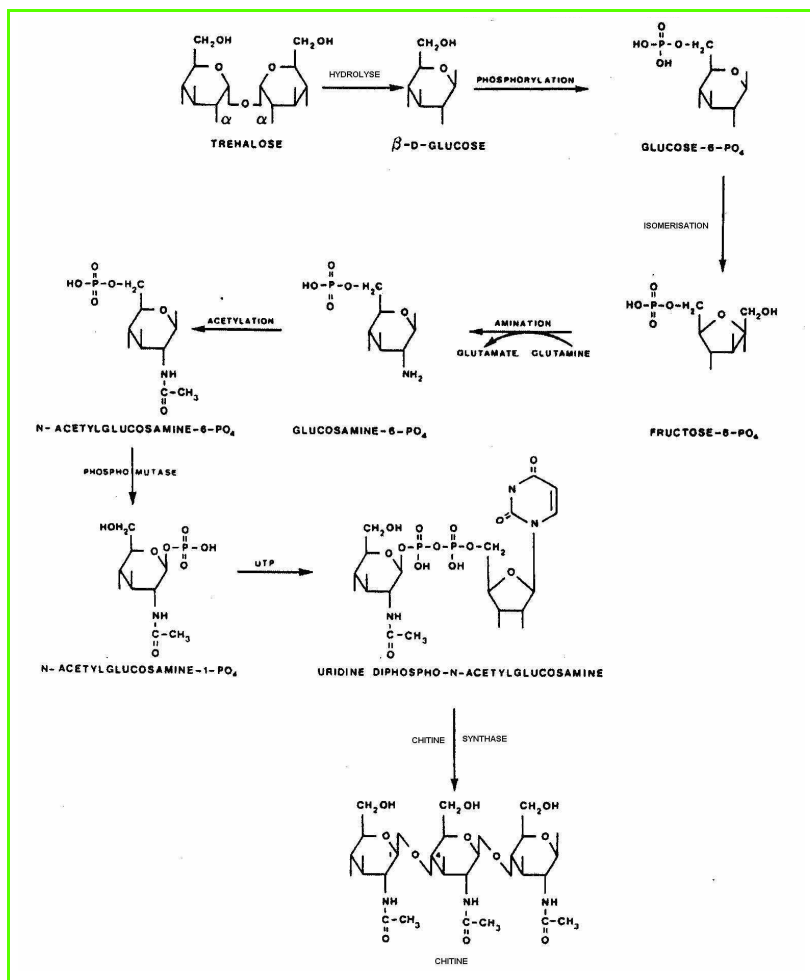


Figure 2 - Schéma général de la biosynthèse de la chitine (d'après A. Retnakaran, *Chitin in Nature and Technology*, p. 147).

L'une des difficultés majeures pour la valorisation de la chitine est celle de sa mise en oeuvre liée à la difficulté de mise en solution. C'est pourquoi de nombreux dérivés ont été préparés et en particulier le chitosane obtenu par désacétylation, qui en est le plus simple (figure 3).

Le chitosane

Le chitosane est très peu répandu dans la nature. Il n'est signalé que dans les exosquelettes de certains insectes comme les reines des termites et dans les parois cellulaires d'une classe particulière de champignons, les zygomycètes. Pour amplifier la production naturelle du chitosane au niveau de ces champignons, des modifications du milieu de culture voire du code génétique sont entreprises grâce à l'essor de la biotechnologie.

La réaction industrielle de désacétylation de la chitine est rarement complète. Dans des conditions acides ou basiques, la majorité des groupements amide sont en principe hydrolysables. Mais à cause de la susceptibilité des liaisons glycosidiques de la chaîne de chitine, l'hydrolyse acide est à éviter dans ce genre de réaction. En outre, l'arrangement *trans* des substituants en C-2 et C-3 augmente la résistance du groupe acétamino en position C-2 à l'hydrolyse alcaline. Ainsi, il est nécessaire de bien choisir le traitement pour désacétyler le polymère d'origine, à savoir la chitine, tout en minimisant au maximum la dégradation de la chaîne du polysaccharide et en obtenant une désacétylation régulière le long des chaînes

plusieurs théories sont proposées à son égard. Toutefois, il semblerait que sa structure soit constituée de deux chaînes parallèles pour une chaîne antiparallèle.

polymères. La structure chimique idéale du chitosane est un enchaînement de monomères β-D-glucosamine reliés par une liaison glycosidique (1→4) (figure 1). En fait, le terme

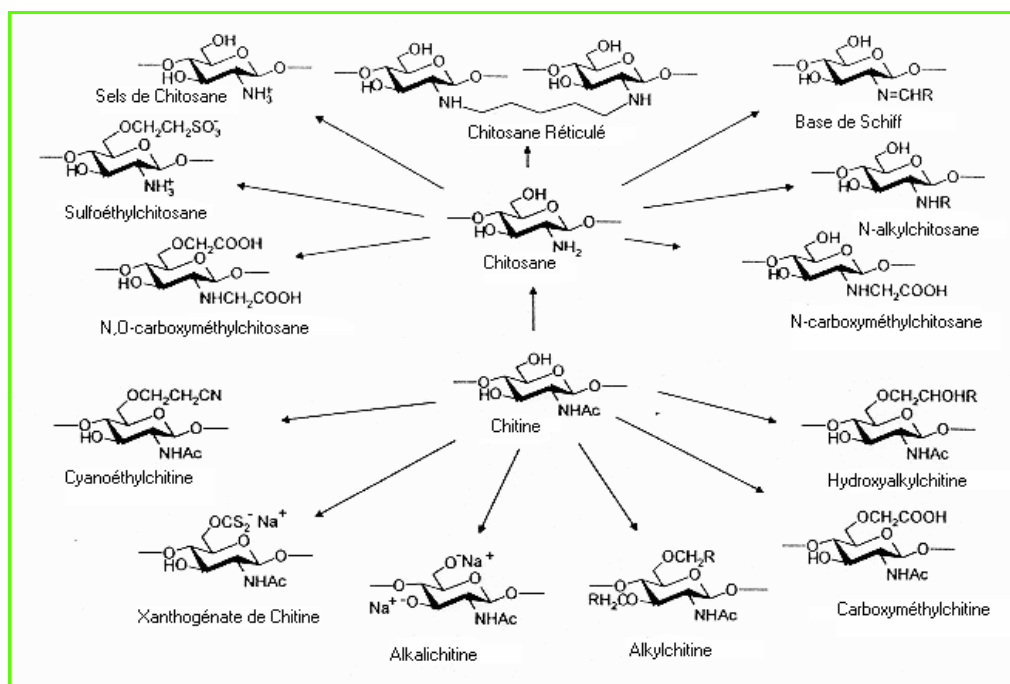


Figure 3 - Dérivés chimiques de la chitine et du chitosane (d'après M.G. Peter, 1995).

chitosane est donné à tout copolymère, formé d'unités constitutives N-acétyl-D-glucosamine et D-glucosamine, dont le degré d'acétylation est inférieur à 50 % (figure 1). Une multitude de méthodes de désacétylation de la chitine sont citées dans la littérature sans qu'il existe un procédé standard pour la préparation du chitosane. Cependant, la plupart des méthodes utilisent des solutions aqueuses alcalines. On utilise le plus souvent des solutions aqueuses de NaOH (35 à 50 % en masse) pour réaliser cette opération. La réaction est généralement effectuée à des températures comprises entre 80 et 140 °C et pendant une durée allant de 0,5 à 10 h. Sous de telles conditions, la désacétylation qui généralement ne dépasse pas un taux de 70 à 80 % s'accompagne d'une rupture des liaisons glycosidiques. En procédant par étapes de courtes durées (de 0,5 à 2 h), séparées par des opérations de lavage-séchage, la désacétylation est plus efficace et la masse molaire du polymère moins affectée. La dégradation du polymère peut aussi être réduite lorsqu'on effectue la désacétylation basique sous une atmosphère inerte d'azote ou d'argon et/ou en ajoutant dans le milieu un agent réducteur comme le borohydrure de sodium (NaBH_4) ou le thiophénol. Ce dernier joue le rôle de piège à oxygène, responsable de la dégradation du polymère.

Propriétés physico-chimiques de la chitine et du chitosane

La chitine et le chitosane sont caractérisés par leur masse molaire et leur degré d'acétylation (DA). La détermination de la masse molaire nécessite la mise en solution du polymère. La chitine, du point de vue chimique, est un composé pratiquement inerte, insoluble aussi bien dans l'eau que dans les acides dilués, les bases concentrées ou diluées et les solvants organiques les plus courants. Les acides concentrés la dégradent. Par chauffage, la chitine se décompose vers 250 °C sans fondre. Elle est soluble dans les mélanges diméthylformamide (DMF)/chlorure de lithium (LiCl) ou diméthylacétamide (DMAc)/LiCl. La toxicité relative de ces solvants et la qualité des solutions obtenues expliquent d'une part que la mise en œuvre de la chitine et donc sa valorisation soient difficiles et d'autre part que sa caractérisation ne soit pas aisée. La masse molaire initiale de la chitine est de l'ordre de 800 000 à 10^6 g/mol et elle est généralement complètement acétylée. Les chitosanes industriels ont un degré d'acétylation compris entre 2 et 25 % et leur masse molaire est de l'ordre de 200 000 g/mol. La valeur de cette dernière dépend très fortement du procédé envisagé pour désacétyler la chitine ; ce procédé peut induire une dépolymérisation plus ou moins prononcée du polymère. Un paramètre important est aussi la répartition plus ou moins régulière des unités N-acétylées le long de la chaîne macromoléculaire. La présence de blocs d'unités N-acétylées confère au polymère un caractère plus hydrophobe, et donc des propriétés autoassociatives (telles que des propriétés viscosifiantes et gélifiantes), et modifie sa solubilité.

La chitine est biodégradable et non toxique. Elle peut être hydrolysée facilement par le lysozyme et par les chitinases. Le chitosane est insoluble dans l'eau, les solutions alcalines concentrées ou diluées et dans les solvants organiques les plus courants. Sa solubilisation peut être obtenue par protonation de ses groupements amine dans les acides dilués. Par chauffage, il se décompose sans fondre à partir de 185 °C. En solution dans un acide dilué, le chitosane se

comporte comme un polyélectrolyte cationique de forte densité de charge. S'il est considéré comme une polyamine, ses propriétés dépendent fortement du pH du milieu ; le pK_a (pK_a intrinsèque) de la fonction amine dans ce polymère est de 6,0, ce qui signifie qu'en-dessous de ce pH, le chitosane est cationique et soluble. Le polymère peut alors s'associer sélectivement avec les espèces anioniques et être ainsi un excellent agent de floculation et former des complexes polyanion-polycation (menant à la préparation de membranes par exemple). Au-delà d'un pH de 6,5 environ, le chitosane précipite et la chaîne macromoléculaire ne comporte plus de groupements ionisés. Il possède alors de bonnes propriétés chélatantes dues, en particulier, au doublet électronique libre de l'atome d'azote. Enfin, la présence de la fonction amine le long de la chaîne macromoléculaire permet, au contraire de la cellulose par exemple, de réaliser des réactions chimiques spécifiques à cette fonction (telles que la N-alkylation, la N-carboxylation, par exemple). Il peut être remarqué que les solutions de chitosane peuvent tolérer des quantités appréciables de solvant organique.

Une caractéristique générale des polysaccharides est la flexibilité limitée de la chaîne macromoléculaire due à l'empêchement stérique imposé par les liaisons glycosidiques. En particulier pour les polysaccharides ioniques, ce problème devient crucial car l'apparition d'interactions électrostatiques répulsives augmente nettement leur rigidité. En-dessous d'une valeur de 20 %, le degré d'acétylation n'a que peu d'importance sur la rigidité de la chaîne et au-delà de 25 %, celle-ci augmente. La présence d'interactions liées aux liaisons hydrogène et d'interactions hydrophobes (liées à la présence des groupements acétyle) conduit à ce que les solutions de chitosane, dans des conditions particulières de DA et de concentration de polymère, présentent un comportement de gel.

Fonctionnalités et applications de la chitine et du chitosane

La nature $\beta(1\rightarrow4)$ des liaisons glycosidiques confère à la chitine et au chitosane des propriétés filmogènes. En outre, ces films présentent une perméabilité importante.

Compte tenu de sa structure chimique, le chitosane présente l'avantage, contrairement à la majorité des polysaccharides, de posséder un caractère polycationique dû aux groupements amino qui en solution et en milieu acide sont chargés. De ce fait, les molécules chargées négativement peuvent interagir avec la chaîne macromoléculaire du chitosane. C'est le cas des acides gras, des impuretés présentes dans l'eau, des protéines de la peau et du cheveu par exemple... Ainsi, le chitosane trouve des applications importantes dans plusieurs domaines (agriculture, santé...) en mettant à profit ses diverses propriétés spécifiques. C'est ainsi que son utilisation dans des secteurs économiquement porteurs comme les industries alimentaires, cosmétiques, pharmaceutiques ou agricoles, a fait l'objet de nombreux brevets.

Le pouvoir chélatant du chitosane lui permet d'éliminer les métaux lourds, même en de très faibles quantités. Ses excellentes propriétés floculantes à la fois des matières minérales et organiques, mais aussi des microorganismes, en font un matériau de choix pour le traitement des eaux usées. Il peut être utilisé aussi bien à l'état solide qu'en solution afin de complexer les ions métalliques. Cette application étant basée sur le caractère cationique du

Tableau II - Propriétés de la chitine et du chitosane et leurs principales applications.

PROPRIÉTÉS	DOMAINES D'APPLICATION	APPLICATIONS
Propriétés chimiques <ul style="list-style-type: none"> • Polyamine linéaire • Réactivité des groupements amino • Réactivité des groupements hydroxyle 	AGRICULTURE	Enrobage des semences Alimentation des volailles Fertilisant
	ALIMENTAIRE	Additifs alimentaires (liant, émulsifiant, stabilisant...) Clarification des boissons
Propriétés polyélectrolytes (en milieu acide) <ul style="list-style-type: none"> • Polymère cationique • Forte densité de charge • Excellent flocculant • Adhésion à des surfaces chargées négativement 	BIOMÉDICAL	Agent hémostatique, bactériostatique, spermicide Anticoagulant Vaisseaux sanguins artificiels Gel dentaire Lentille cristalline (ophtalmologie) Membrane pour dialyse Capsules pour le relargage des médicaments Réduction du taux de cholestérol Peaux artificielles Pansements Accélération de la cicatrisation des blessures Fils de suture chirurgicaux biorésorbables
	COSMÉTIQUE	Agent de liaison dans les crèmes Émulsifiant Humidifiant Soins capillaires
Propriétés Biologiques <ul style="list-style-type: none"> • Biocompatibilité <ul style="list-style-type: none"> - non toxique - biodégradable • Bioactivité <ul style="list-style-type: none"> - accélère la cicatrisation des plaies - réduit le niveau de cholestérol - stimule le système immunitaire 	ENVIRONNEMENT (Traitement des eaux usées et des déchets)	Purification des eaux par floculation Formation de complexes avec les métaux
	AUTRES	
Propriétés chélatantes	Acoustique	Membrane des hauts-parleurs
Propriétés filmogènes	Biotechnologie	Immobilisation des cellules et des enzymes
Propriétés de rétention d'eau	Industrie papetière	Additifs
	Textile	Additifs (imperméabilisant...)
Propriétés antifongiques	Photographie	Films

cellules microbiennes, animales ou végétales, ou d'enzymes..., afin de clarifier les jus de fruits ou pour éliminer les composés phénoliques dans les vins par exemple.

Au niveau de l'agriculture, la chitine et le chitosane sont capables de déclencher chez les plantes des mécanismes de défense contre les infections et les agressions parasitaires à des doses très faibles (de l'ordre de quelques mg par m³ d'eau). Le chitosane sert ainsi d'enrobage de semences des céréales. Il renforce par la même occasion le système racinaire et induit l'épaississement de la tige. De tels effets physiologiques ne peuvent conférer à la plante qu'une meilleure résistance lors de la germination et conduire à de meilleurs rendements lors de la période de récolte. En outre, le chitosane a une action fongicide propre.

En plus des propriétés déjà décrites, les propriétés biologiques (biodégradabilité, bioactivité et biocompatibilité) de la chitine et du chitosane leur permettent des applications pharmaceutiques, biomédicales et cosmétiques. La biocompatibilité du chitosane se traduit par son antigénicité, sa non toxicité et son hémocompatibilité. Sa non toxicité est illustrée par une dose limite administrable par voie orale de 17 g/kg.jour. L'hémocompatibilité se manifeste par un caractère antithrombogène tout en étant un hémostatique local. Il trouve de ce fait des

applications en revêtement d'objets devant être mis en contact avec le sang comme les prothèses vasculaires ou les valves cardiaques. Sa bioactivité est due principalement à son activité biostimulante qui lui donne aussi la propriété d'accélérer la cicatrisation. La chitine et le chitosane entraînent une réduction de la synthèse de collagène indésirable, une augmentation du nombre d'histiocytes, une stimulation des fibroblastes qui produisent alors une quantité abondante de collagène-3, indispensable dans les phénomènes de cicatrisation. Ces propriétés cicatrisantes sont utilisées pour fabriquer des fils de suture ou une peau artificielle. Cette peau aux propriétés analgésiques permet une cicatrisation des brûlures et une reconstitution de l'épiderme beaucoup plus rapide et de façon moins douloureuse qu'avec les produits utilisés habituellement. Cette peau ne présente aucun risque de rejet. En outre, des lentilles de contact à base de chitine, sans propriétés optiques, sont utilisées pour la cicatrisation de cornées endommagées. Le chitosane est aussi antifongique et bactériostatique. C'est un spermicide efficace et il offre de bonnes conditions d'asepsie.

polymère, son efficacité varie selon la concentration en polymère et le pH du milieu. Le pouvoir cationique du chitosane est largement considéré dans l'industrie du papier et il a prouvé une efficacité accrue par rapport aux autres polymères cationiques utilisés jusqu'alors, compte tenu de sa forte densité de charge. Il apporte une bonne rétention des charges facilitant ainsi le recyclage des eaux. Lorsqu'il est désacétylé à plus de 95 %, il permet de multiplier par quatre la résistance du papier à l'état humide. L'impression est plus facile et le papier ainsi préparé est recyclable à 100 %.

Dans le domaine agroalimentaire, la chitine partiellement désacétylée est utilisée d'une part pour désacidifier les extraits de café, les jus de fruits ou de légumes, et d'autre part pour conserver la nourriture du fait de sa capacité à immobiliser les cellules microbiennes ou fongiques. Grâce à sa propriété coagulante, le chitosane permet aussi au niveau des déchets alimentaires industriels de séparer des particules colloïdales et dispersées. La chitine et le chitosane peuvent être utilisés comme agents immobilisateurs de

Pour en savoir plus

- Muzzarelli R.A.A., *Chitin*, Pergamon Press, Oxford, Royaume-Uni, **1977**.
- *Chitin, chitosan and related enzymes*, J.P. Zikakis ed., Academic Press, **1984**.
- *Chitin in Nature and Technology*, R.A.A. Muzzarelli, C. Jeuniaux, G.W. Gooday ed., Plenum Press, New York, **1986**.
- Sandford P.A., Hutchings G.P., *Chitosan - A natural, cationic biopolymer: commercial applications*, *Industrial Polysaccharides : Genetic Engineering, Structure/Property relations and Applications*, M. Yalpani ed., Elsevier Science Amsterdam, **1987**, p. 363.
- Kauffman G.B., Chitin and chitosan, versatile polysaccharides from marine animals, *J. Chem. Educ.*, **1990**, 67, p. 938.
- Roberts G.A.F., *Chitin Chemistry*, Mac Millan Press, **1992**.
- Muzzarelli R.A.A., Chitin, *The Polysaccharides*, vol. 3, G.O. Aspinall ed., Academic Press, Londres, **1995**, p. 418.
- *Chitin Handbook*, R.A.A. Muzzarelli, M.G. Peter ed., Atec Edizioni, Grottamare, Italie, **1997**.
- A close look to chitin, *Carbohydrates in Europe* (numéro spécial), **1997**, 19.
- Goycoolea F.M., Arguelles-Monal W., Peniche C., Higuera-Ciapara, Chitin and Chitosan, *Developments in food science, 41 Novel macromolecules in food systems*, G. Doxastakis, V. Kiosseoglou ed., Elsevier Science, Amsterdam, **2000**, p. 265.
- Peter M.G., Applications and environmental aspects of chitin and chitosan, *J. Macromol. Sci., Pure Appl. Chem.*, **1995**, A32, p. 629.
- Koide S.S., Chitin and chitosan: properties, benefits and risks, *Nutrition Research*, **1998**, 6, p. 1091.
- Ravi Kumar M.N.V., A review of chitin and chitosan applications, *Reactive and Functional Polymers*, **2000**, 46, p. 1.
- Campana Filho S.P., Desbrières J., Chitin, chitosan and derivatives, *Natural polymers and agrofibers based composites*, E. Frollini, A.L. Leao, L.H.C. Mattoso ed., Embrapa Instrumentação Agropecuaria, Sao Carlos, Brésil, **2000**, p. 41.

Sa biodégradabilité est obtenue grâce à des chitosanases et chitinases présentes dans de nombreuses cellules.

Dans le domaine cosmétique, les propriétés filmogènes et cationiques du chitosane sont exploitées dans de nombreuses crèmes ou lotions de soin pour les cheveux ou la peau. Un nombre croissant de produits à base de chitosane arrivent sur le marché. On peut citer en exemple les pommades ou les crèmes antifongiques, antidermatoses ; les crèmes amincissantes où le chitosane peut servir de vecteur ; les crèmes revitalisantes, raffermissantes ; ou tout simplement des crèmes hydratantes.

L'encapsulation est un domaine dans lequel le chitosane est dorénavant utilisé. Les matériaux encapsulés se retrouvent dans de nombreux produits des industries agricole, pharmaceutique ou agroalimentaire. Le matériau utilisé pour encapsuler doit posséder, entre autres, des bonnes qualités sensorielles, une stabilité physico-chimique et microbienne, être exempt de résidus toxiques, être non polluant et sans danger pour la santé. Outre ces caractéristiques, le chitosane possède de bonnes propriétés filmogènes. De nombreux travaux ont permis d'étudier et de développer l'utilisation du chitosane comme matériau d'encapsulation de drogues ou de médicaments par exemple. Cela permettrait le relargage

contrôlé du médicament ou de toute autre substance (engrais..).

Le chitosane, à travers son pouvoir immunologique, peut stimuler les cellules impliquées dans la défense immunitaire vis-à-vis des cellules tumorales et des agents pathogènes. Il peut aussi exercer une action hypocholestérolémiante chez les rats, qui semble due à la capacité de ce polymère à piéger les lipides. Cette propriété est largement utilisée pour la promotion des produits amaigrissants à base de chitosane. Les applications de ces composés ainsi que les propriétés utilisées sont résumées dans le *tableau II*.



Jacques Desbrières

est professeur à l'université de Grenoble I*.

* CERMAV (CNRS), BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9.

Tél. : 04 76 03 76 24. Fax : 04 76 54 72 03.

E-mail : Jacques.Desbrieres@cermav.cnrs.fr