

La capsule, le glycocalyx et la couche S

I. Les polysaccharides bactériens

Les microorganismes peuvent synthétiser les polysaccharides qui peuvent être classés en trois groupes selon leur localisation dans la cellule :

1. Les **polysaccharides intracellulaires** (du cytosol) appelé **polysaccharides de stockage** tels que le **glycogène** qui sont situés dans le cytoplasme.
2. Le second groupe concernant les **polysaccharides structuraux de la paroi** cellulaire comme le **peptidoglycane** et les **acides lipotéichoïques** des bactéries à Gram positif, et les **lipopolysaccharides ancrés dans la membrane externe (LPS)** des bactéries à Gram négatif.
3. Le troisième groupe réunit les **polysaccharides extracellulaires**, certaines bactéries peuvent sécréter une couche de polysaccharide sur leur surface, qui, avec quelques glycoprotéines, sont regroupées dans le cadre général sous le terme **«glycocalyx»**.

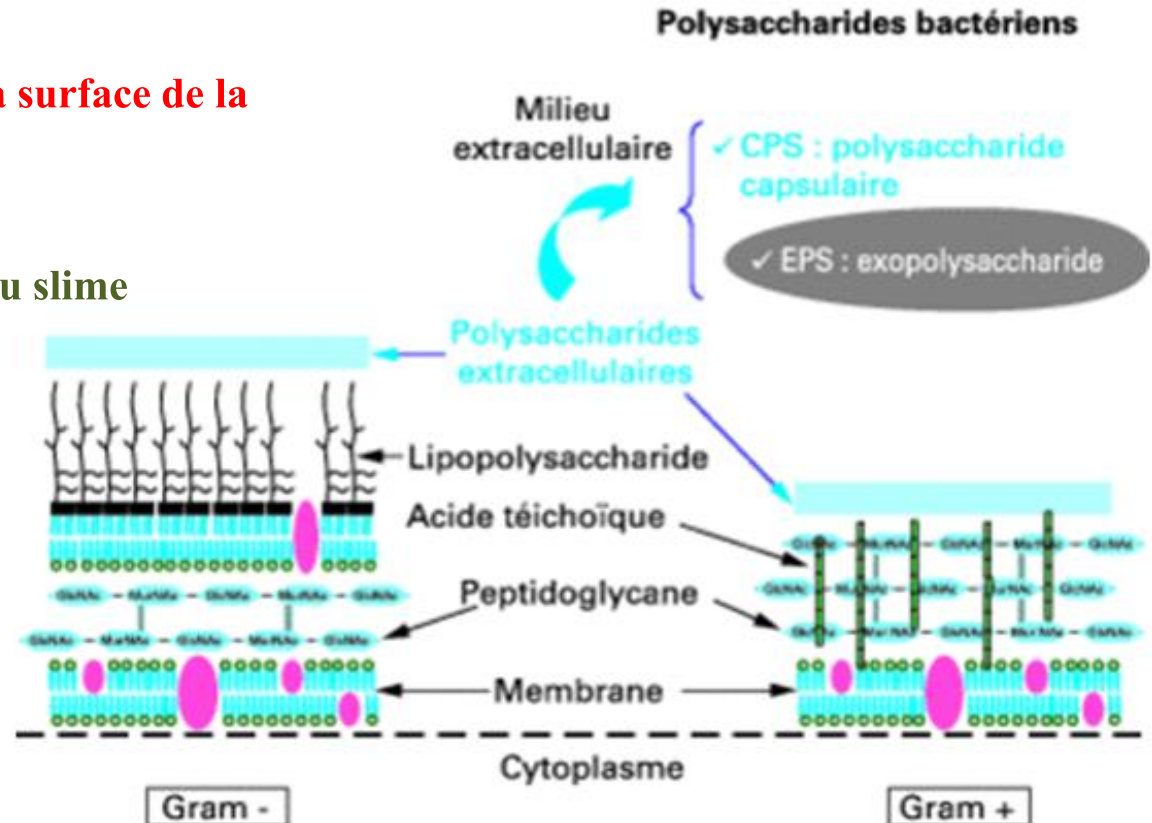
Une fois la biosynthèse terminée, le **polysaccharide est libéré dans le milieu extracellulaire (EPS)** ou reste **attaché à la membrane formant une capsule (CPS)** autour de la cellule

I. Les polysaccharides bactériens

Polysaccharides extracellulaires qui peuvent être exposés à la surface de la cellule de manière plus ou moins lâche ou être libérés dans le milieu.

➤ **Deux types :**

- ✓ **Polysaccharide (CPS) lié à la surface de la bactérie : capsule**
- ✓ **Exopolysaccharides libres ou slime**



Distribution des polysaccharides chez les bactéries

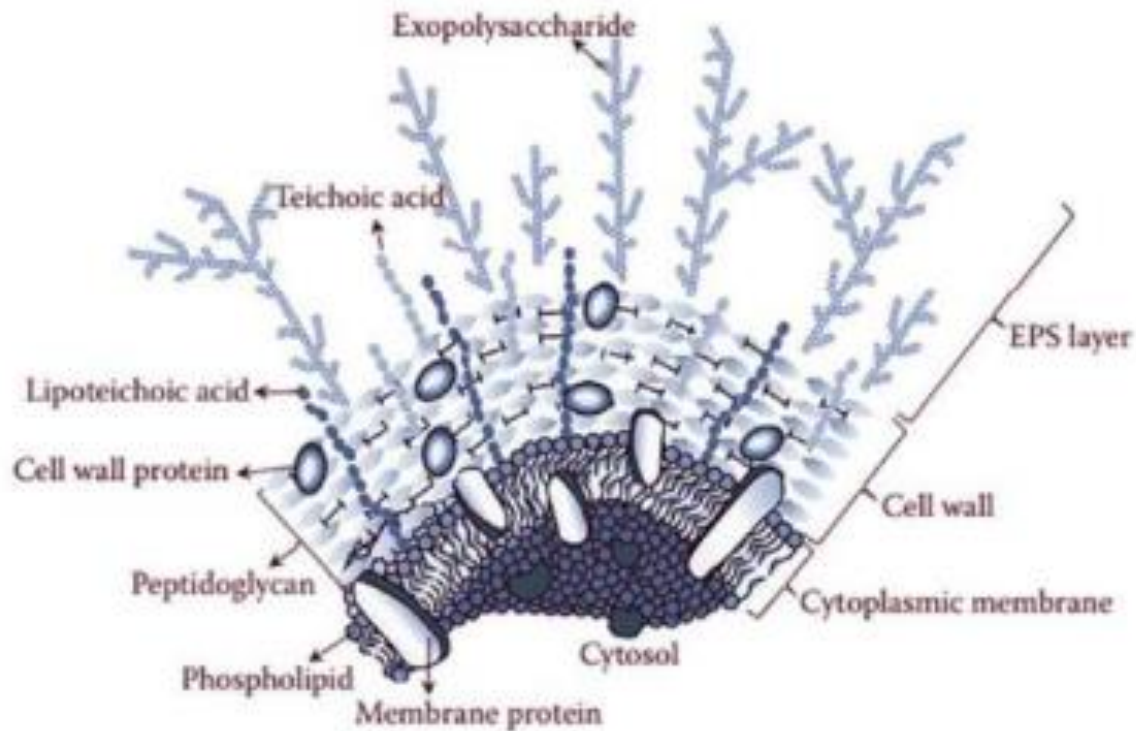


Figure 6 : Représentation schématique de l'enveloppe cellulaire des bactéries à Gram positif

Les polysaccharides microbiens peuvent généralement être classés par leurs fonctions biologiques provenant de leur localisation, il existe trois groupes : des **polysaccharides de stockage intracellulaire** (glycogène), des **polysaccharides capsulaires** qui sont étroitement liés à la surface cellulaire et **polysaccharides bactériens extracellulaires** (xanthane et le dextrane) qui sont importants pour la pathogénicité et la formation des biofilms

I. Polysaccharides lié à la paroi

Certaines bactéries possèdent des structures entourant la paroi. On distingue 3 types de couches :

1. La capsule: structure bien organisée, bien définie et elle est difficilement détachable de la bactérie.

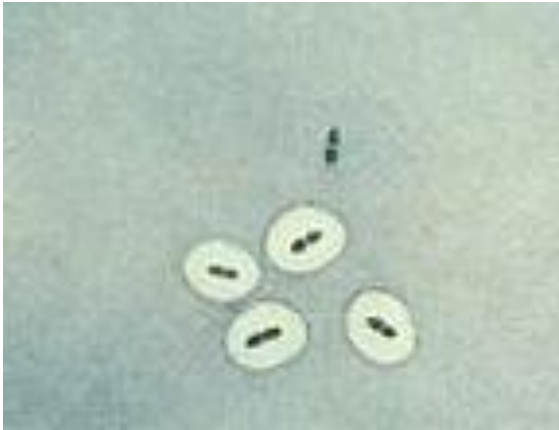
2-La couche mucoïde: Ressemble à la capsule mais moins bien organisée, diffuse, elle est facilement détachable de la bactérie. La couche mucoïde est fréquente chez les bactéries aquatiques et particulièrement importante chez les bactéries du genre *Zooglea* qui produisent des masses gluantes.

3- La couche S: plus rigide, très structurée. C'est une couche de surface mise en évidence par microscopie électronique. Elle est constituée de sous unités protéiques organisées.

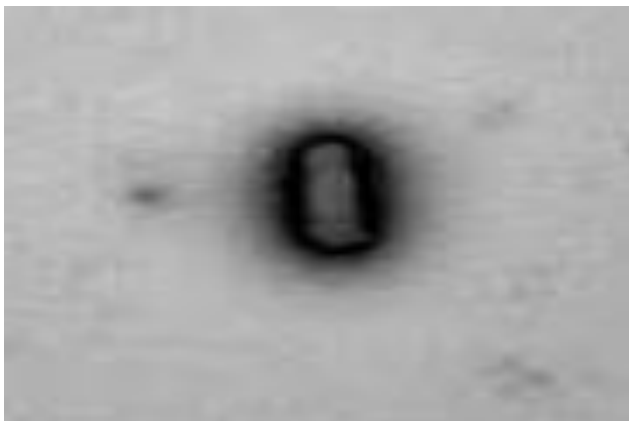
1. La capsule

Elle est Formée d'un polysaccharide très hydraté (> 95 % d'eau).

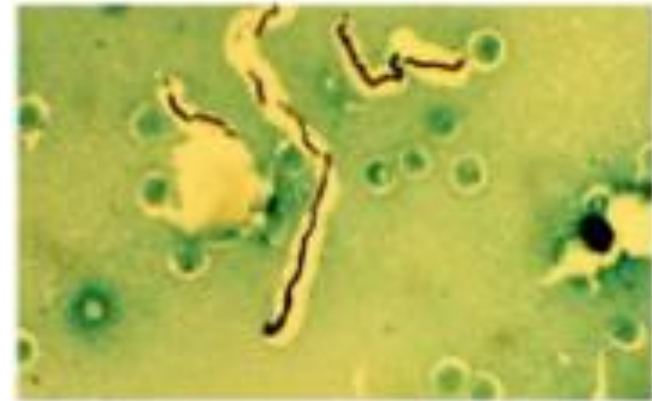
Cette couche gélatino-muqueuse, entourant un ou plusieurs corps bactériens : *Streptococcus pneumoniae* encapsulés en diplocoques et *Klebsielle pneumoniae* encapsulée seule



Streptococcus pneumoniae encapsulés en diplocoques



Klebsielle pneumoniae
encapsulée seule



Bacillus anthracis

1. 1. Composition

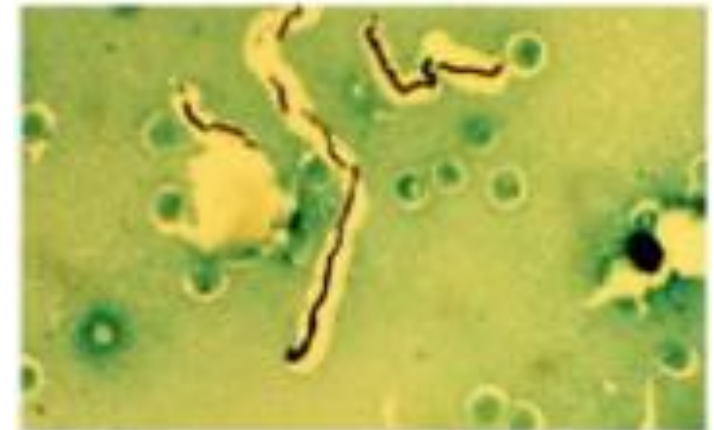
La capsule bactérienne est généralement constituée de :

- ✓ **polysaccharides acides** : **sucres sous forme d'acides** uroniques tel l'acide galacturonique, l'acide glucuronique, hyaluronique
- ✓ mais aussi sous **forme de sucres phosphorés** comme le ribitol-phosphate

La capsule de *Bacillus anthracis* (maladie du charbon) est **de nature protéique**. Elle est constituée de polypeptides d' **acide D-glutamique**.

- Les polymères capsulaires purifiés sont la base de **certains vaccins** (*Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae*).

La capsule protéique de *Bacillus anthracis*

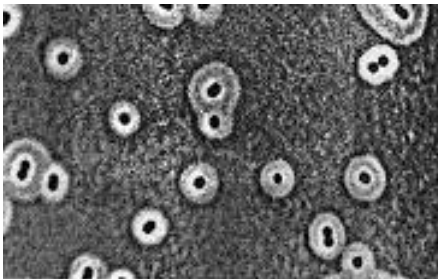


1.2. Mise en évidence de la capsule

Etat frais à l'encre de chine : les bactéries apparaissent sur fond sombre avec un halo clair autour du corps bactérien qui correspond à la capsule.

Microscopie électronique

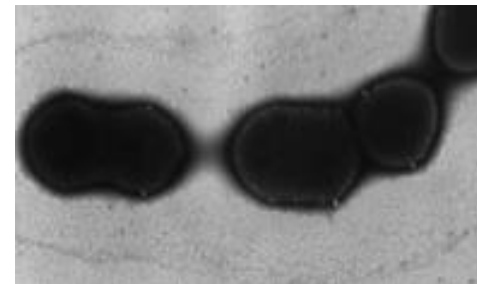
Techniques immunochimiques : des Anticorps anti-capsulaires se fixent sur les Ag capsulaires. Le complexe Ag-Ac précipite et augmente l'épaisseur de la capsule qui devient visible au microscope. Cette réaction est appelée : **Réaction de gonflement de la capsule de NEUFELD**.



Capsule de *Streptococcus pneumoniae* visualisée à l'encre de Chine



Capsule de *Bacillus anthracis* visualisée à l'aide d'anticorps fluorescents



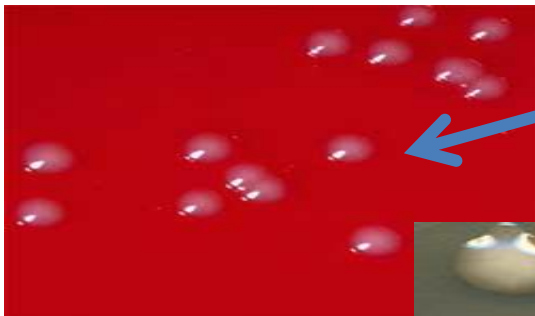
Capsule de *Streptococcus pyogenes* visualisée par microscopie électronique à transmission

1.3. Aspect de la production de capsule

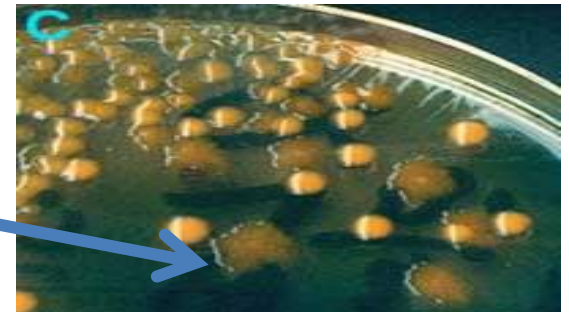
Les bactéries dotées d'une capsule donnent naissance à des colonies d'aspect muqueux.

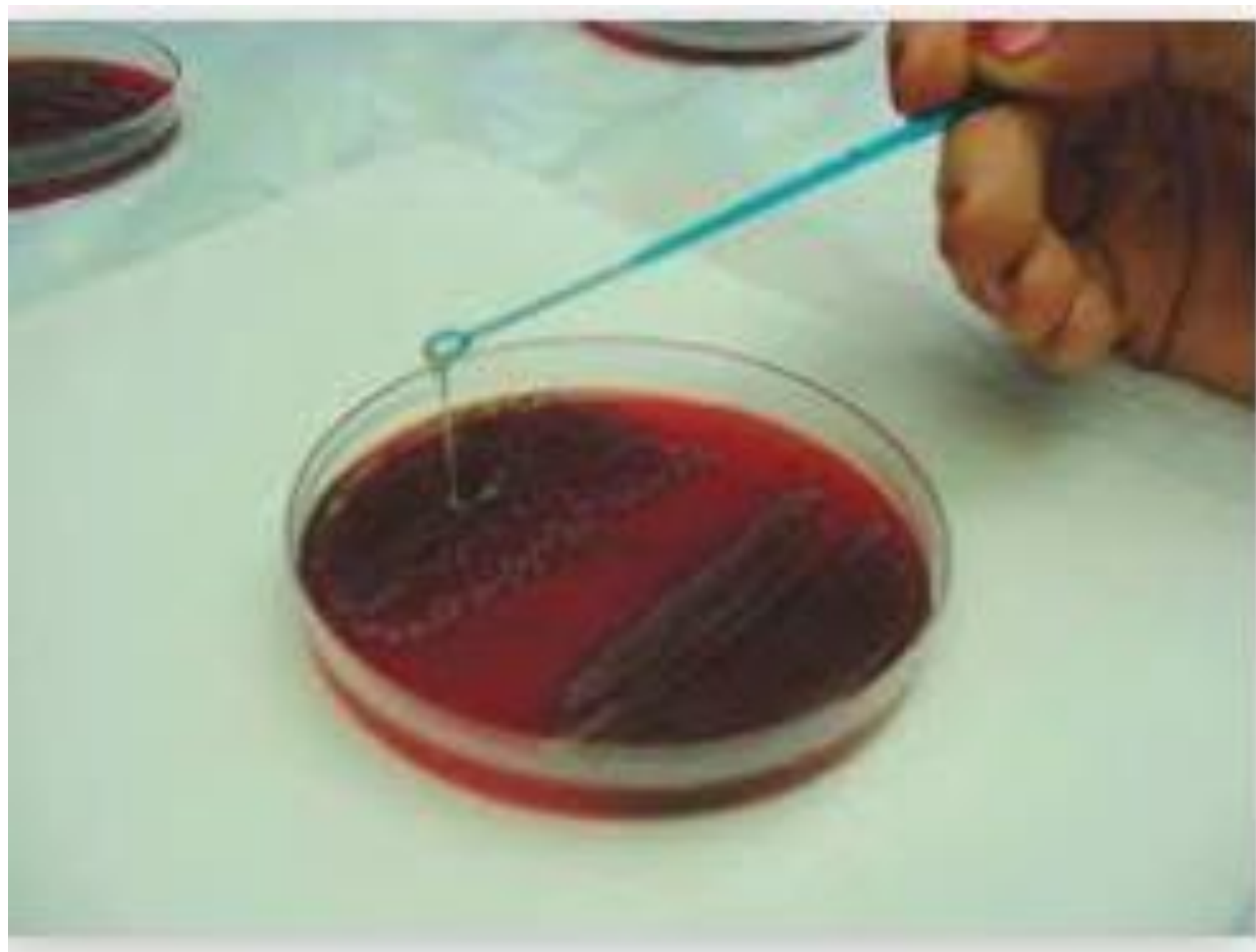


- les **bactéries sauvages** capsulées donnent des colonies lisses (**S** pour « **smooth** ») ou muqueuses,
- Les **bactéries non capsulées** donnent des colonies rugueuses (**R** pour « **rough** »)



Colonies muqueuses (S)
Colonie rugueuses (R)





1.4. Le rôle de la capsule

Les capsules sont considérées comme **des structures protectrices**, notamment contre le **dessèchement** ;
elles joueraient aussi un rôle dans **l'adhérence sur des surfaces et dans la formation de biofilms**.

La présence d'une capsule est importante dans la **pathogénicité de nombreuses Bactéries**.
Elles elle agit comme **facteur de virulence et de protection contre la phagocytose**.
Les différences sérologiques des souches sont à attribuer aux variations des antigènes de cette capsule.

Ainsi on connaît 80 types différents de polysaccharides capsulaires (appelés antigènes K) chez *E. coli*, et plus de 90 chez *Streptococcus pneumoniae*.

Ce nombre élevé de variants chez *S. pneumoniae* est à la base de la difficulté à obtenir des vaccins contre cette espèce.

2. Glycocalyx ou *slime*

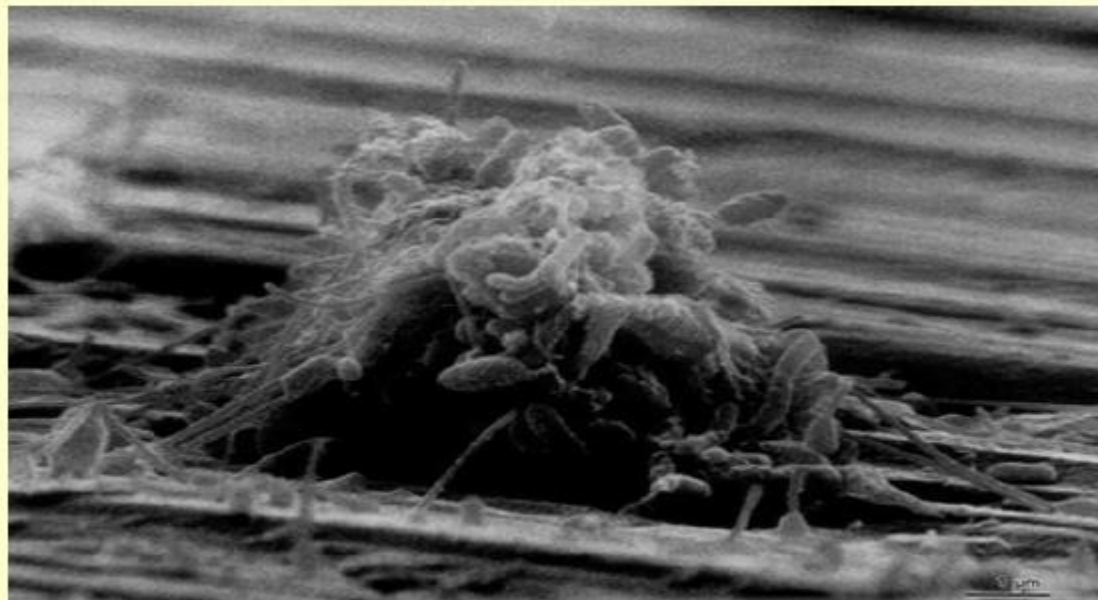
- Le glycocalyx est le terme générique employé pour désigner les substances qui enveloppent les cellules.
- Le glycocalyx bactérien est un polymère gélatineux et visqueux situé à l'extérieur de la paroi cellulaire.
- La composition chimique diffère énormément d'une espèce à l'autre.
- Le glycocalyx produit à l'intérieur de la cellule et excrété à sa surface

Important :

- Si la substance est organisée et solidement fixée à la paroi le glycocalyx est nommé : capsule
- Si la substance est moins bien organisée et associée de façon lâche à la paroi le glycocalyx est nommé : couche visqueuse

- Un glycocalyx constitué de sucres est appelé : polysaccharide extracellulaire (PSE) (le PSE donne à la bactérie la capacité de se fixer à divers surfaces).

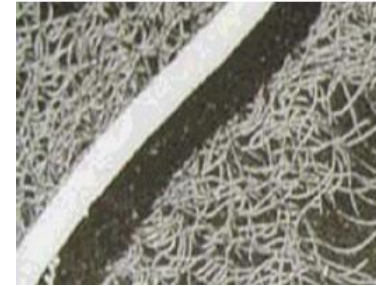
Les biofilms bactériens



2. Glycocalyx ou *slime*

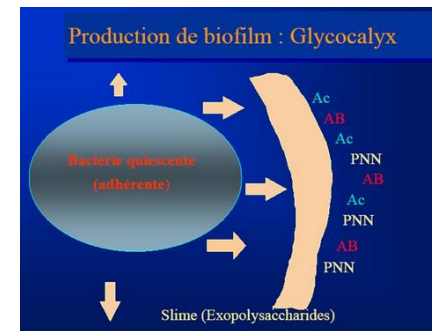
Certains polysides produits par des bactéries ont un intérêt industriel et sont produits comme gélifiants notamment en industries alimentaires :

- *Leuconostoc mesenteroides* produit des **dextranes**,
- *Xanthomonas* produit des **xanthanes**.



Le rôle :

- Il est responsable de **l'attachement des bactéries aux cellules** (cellules buccales, respiratoires, plaques dentaires),
- l'attachement à des supports inertes** (plaques dentaires sur l'émail dentaire, biofilms sur les cathéters, ou les prothèses).



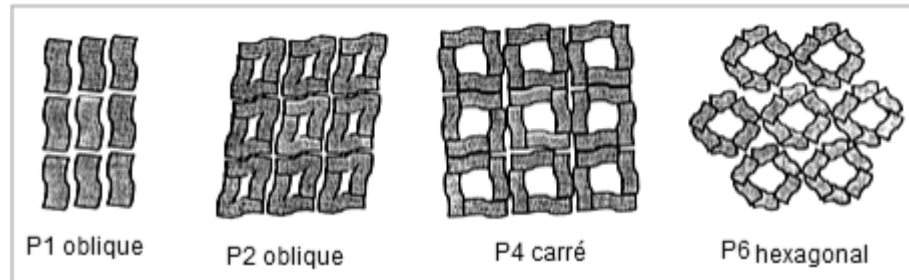
- Il protège les bactéries de la **dessiccation** et sert à concentrer ou à **modifier les éléments nutritifs exogènes**
- **Résistances aux agents** antiseptiques, désinfectants, antibiotiques, phages

3- La couche S

Mise en évidence par microscopie électronique, elle est formée par l'auto-assemblage de sous-unités de protéines et de glycoprotéines et sucres,

Cette couche crée sur la surface de la cellule un grillage cristallin de 5-25 nm.

Disposée régulièrement sous forme d'un assemblage paracristallin organisé selon un système géométrique carré, hexagonal ou oblique.



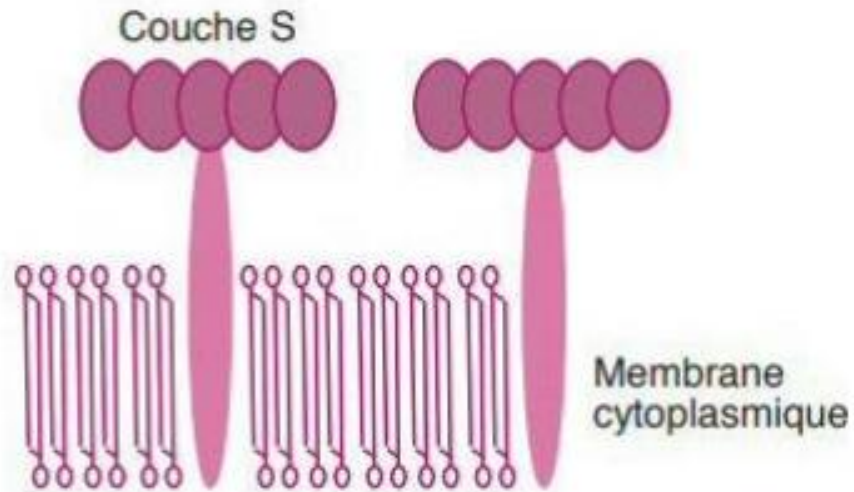
On la retrouve chez beaucoup d'espèces G⁺ et G⁻ mais elle est caractéristique des **Archéobactéries**.

Rôle :

Il s'agit d'un avantage sélectif à travers le phénomène de protection contre **l'attaque de microorganismes**, contre la **déshydratation**, cela bloque l'avancée de **substances toxiques volumineuses** et intervient dans **l'adhérence** sur les surfaces.

Résistance aux protéases des macrophages et dans la protection vis-à-vis des bactériophages.

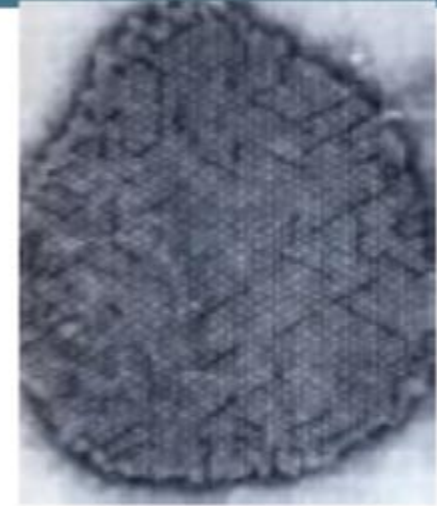
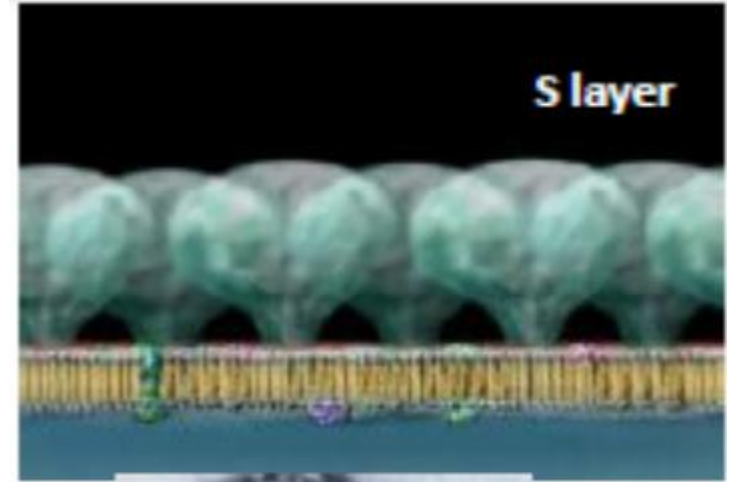
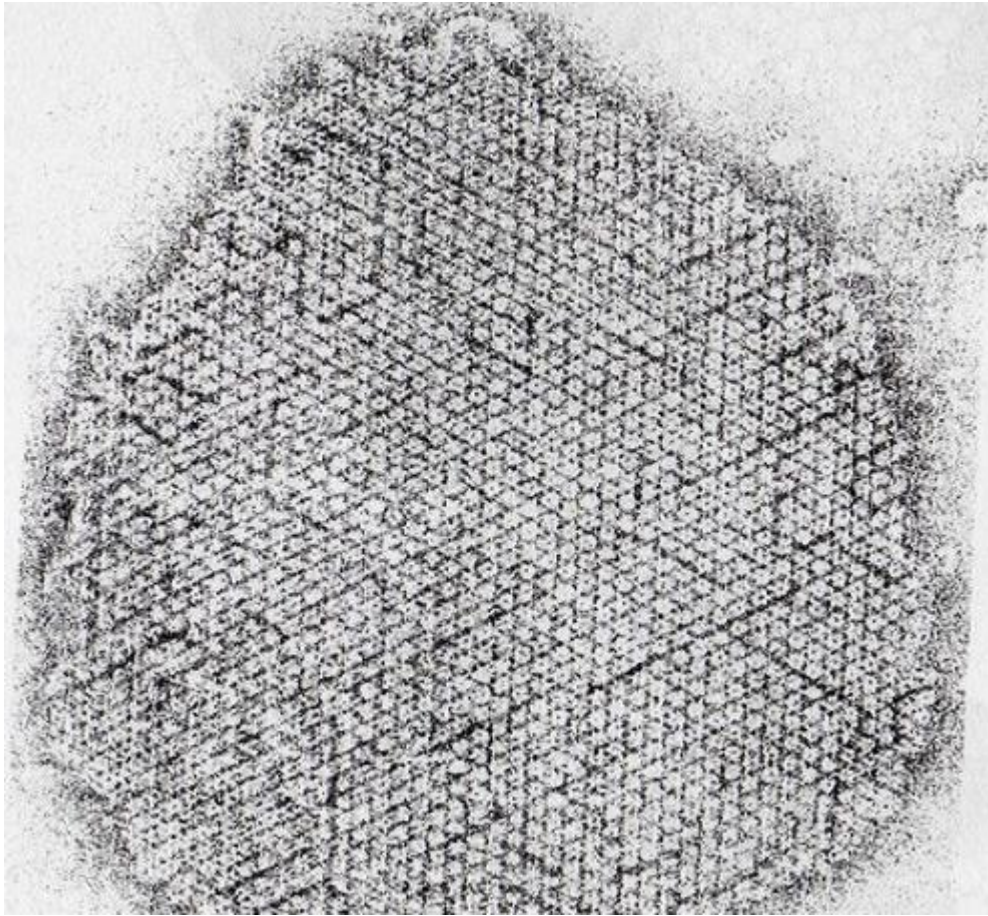
⇒ **Composition de la paroi de certaines archées**



Couche S : couche de protéines paracristalline

Source : *Microbiologie Biologie des procaryotes et de leurs virus.*
Luciano Paolozzi Jean-Claude Liébart, ed Dunod

3. La Couche S



ME d'un fragment de couche S montrant la nature quasi-cristalline de cette enveloppe. Cette couche S obtenue chez *Aquaspirillum* présente une symétrie hexagonale, que l'on retrouve chez de nombreuses Archaeobactéries

II. Exopolysaccharides

Les EPS sont des macromolécules organiques à chaîne longue linéaires ou ramifiées composés d'unités de sucre dans différents rapports qui comprennent principalement le glucose, le galactose, le rhamnose.

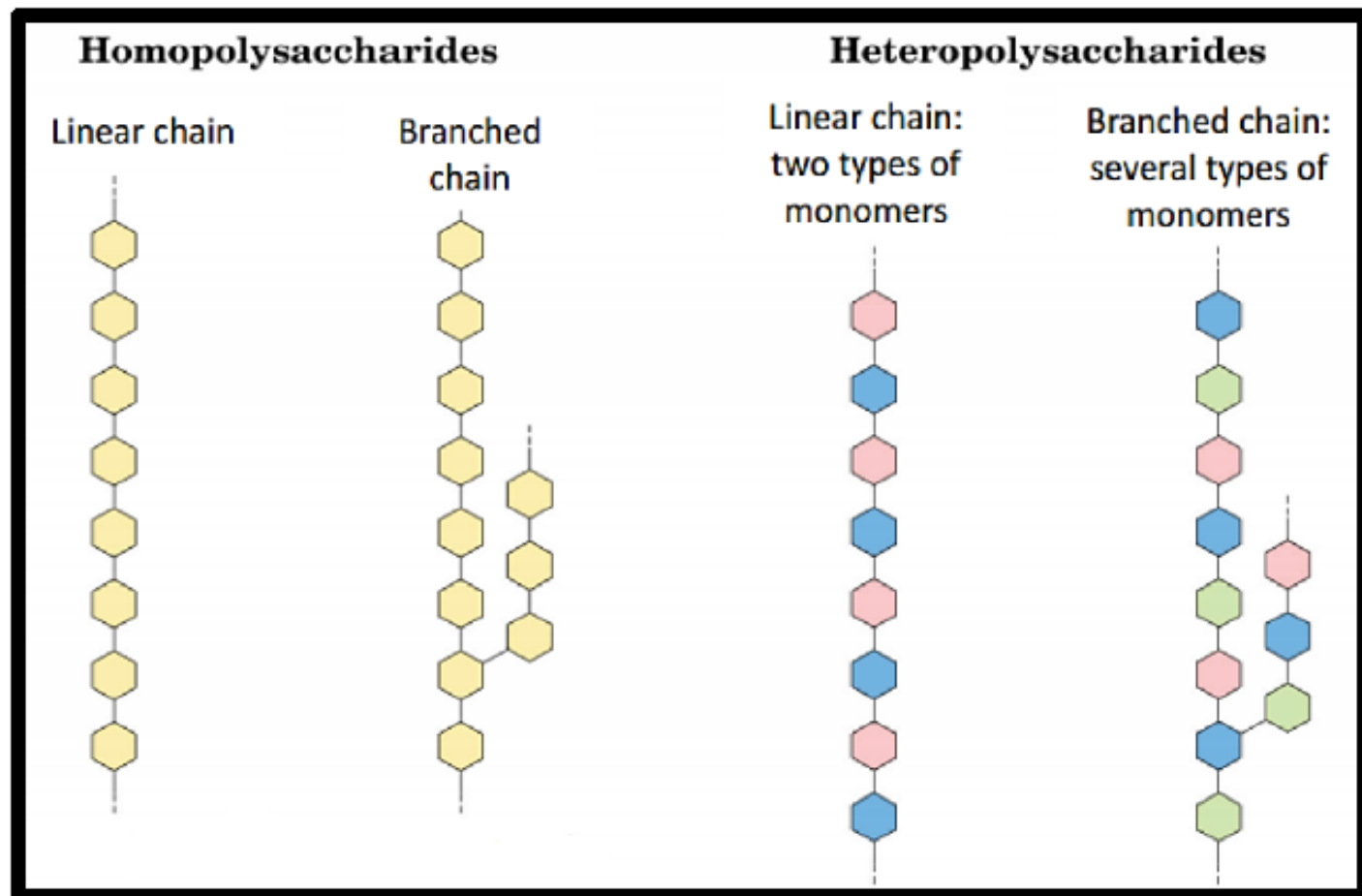
Ils sont produits lorsque certains MO ne sont pas dans des conditions favorables à leur prolifération.

La nature de leurs composants a cependant permis de les diviser en deux classes :

– Homopolysaccharides : ils sont composés que de monosaccharides identiques.

Les monosaccharides les plus fréquemment sont **le glucose, le galactose et fructose** pour les **oses neutres**.

- les **glucanes**, uniquement constitué de **D-glucose** peuvent posséder des propriétés physiques très différentes. En effet, l'enchaînement de leurs résidus et la présence de ramifications modifient leurs comportements en solution.
- Un squelette rigide est dû à des liaisons de type B (1-4) ou B (1-3) ; par contre la présence de liaisons de type α (1-6) donne plus de flexibilité aux polymères
- Le scléroglycane est très visqueux alors que le curdlane forme un gel en solution et la cellulose bactérienne est insoluble.
- Les homopolysaccharides bactériens les plus utilisés sont **le dextrane, le curdlane et le scléroglycane** (aussi appelé pullulane).

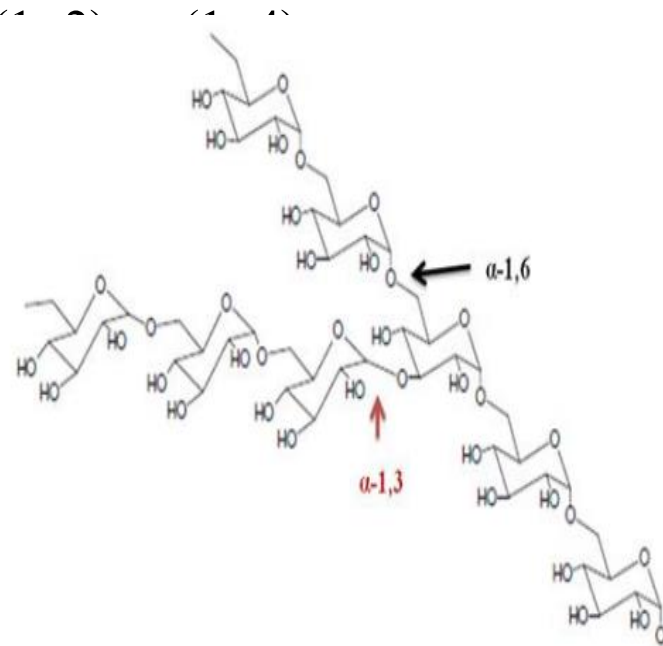


**Figure : Représentation des homo et hétéropolysaccharides
(Sanlibaba et Çakmak, 2016)**

Le dextrane : est un polysaccharide biocompatible produit par des souches appartenant aux genres lactobacilles, Leuconostoc, Streptococcus et qui est utilisé dans de multiples domaines tels que l'alimentaire ou le médical.

Le dextrane est formé par la condensation des unités α (1-6) glucose et ramifiées par des résidus de glucose par des liaisons $\alpha(1-3)$,

dextrane (*Leuconostoc mesenteroides*)



Le dextrane est fortement utilisé dans le domaine vasculaire comme **substitut du plasma sanguin et peau artificielle** ainsi que pour l'encapsulation de médicaments dans le but d'un relargage contrôlé.

Dans les produits laitiers, les dextranes sont utilisés comme **additifs alimentaires** et agissent comme **texturants en augmentant la viscosité et comme stabilisateurs**

– **Hétéropolysaccharides** regroupent des polymères dont l'unité répétitive comporte **deux à sept résidus osidiques différents**

➤ Ils incluent des oses neutres (D-glucose, Dgalactose, L-rhamnose), acides (acide glucuronique, acide galacturonique, etc) ou encore aminés (N-acétyl-D-glucosamine, N-acétyl-D-galactosamine).

➤ Exemple **le xanthane.**

Les xanthanes : La chaîne principale de ce polysaccharide est constituée par un enchaînement de glucopyranoses reliés entre eux par des liaisons β (1,4) glucosidiques (cellulose), pour tous les 2 résidus de glucose une chaîne latérale constituée par 2 résidus de mannopyranoses encadrant 1 résidu d'acide glucuronique. Le taux d'estérification est variable selon les

Le rôle :

- ✓ stabilisateur d'émulsion,
- ✓ amplificateur de mousse
- ✓ Améliorant du volume de la pâte,
- ✓ adhésif et pour l'inhibition de la formation de cristaux de glace,

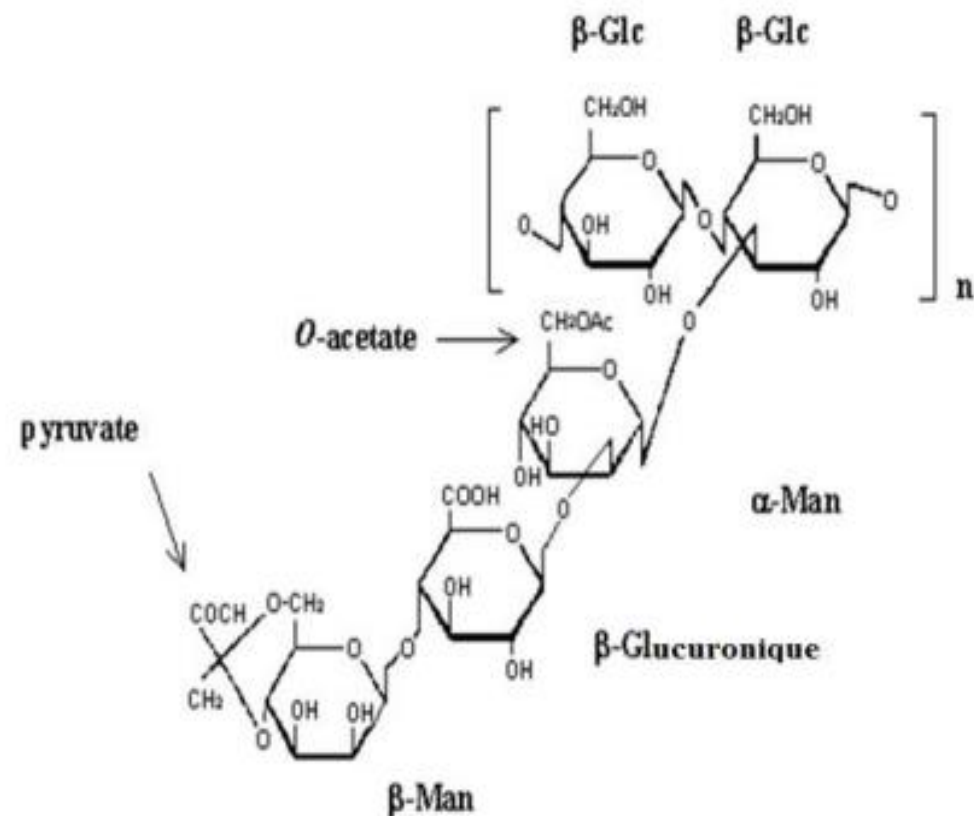


Figure15. La structure du xanthane.

3. Le rôle des polysaccharides

1- Protection des bactéries

- Protection contre la dessiccation (Riche en eau) ce qui assure de meilleures conditions de survie pour les bactéries dans le milieu extérieur et facilite leur transmission d'un hôte à un autre
- Protection contre les agents chimiques et physiques: les structures en biofilm, permettent **l'adhésion des bactéries entre elles ou aux tissus de l'hôte** tout en formant une matrice isolante. C'est une **barrière protectrice et sélective** en laissant **passer les nutriments** et en **excluant les molécules antimicrobiennes** comme certains antibiotiques ou désinfectants
- Protection contre la prédation des protozoaires,

2- **Pouvoir pathogène (virulence)**. Elle s'oppose à la phagocytose en diminuant l'adhésion de bactéries aux macrophages (*Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae*, *Klebsiella*, *E. coli* K1)

- Adhésion à l'épithélium et attachement aux surfaces solides inertes et participent à la formation de biofilm

3. Le rôle des polysaccharides

3- Biodétoxification des milieux contaminés; les EPS peuvent fixer et permettre l'accumulation dans les biofilms de cations Ca^{2+} ou Mg^{2+} mais aussi de métaux lourds (plomb , zinc, cobalt, fer)

4- Support de l'antigénicité

- **Antigénique** : les Ag capsulaires sont responsable de la spécificité sérologique (Ag K). A partir de cette propriété, une classification peut être établie (ex : 70 types sérologiques différents chez *Streptococcus pneumoniae*).

5- Spécificité sérologique

- La préparation de vaccins à partir d'EPS évite l'utilisation d'extraits cellulaires et donc les effets secondaires provoqués par les métabolites tels que les LPS et les protéines.
- Plus récemment, il a été montré qu'un certain nombre d'exopolysaccharides ont des propriétés antitumorales ou antivirales

3. Le rôle des exopolysaccharides

6- applications industrielle des propriétés fonctionnelles

- ✓ Les EPS des bactéries lactiques sont capables de modifier les propriétés rhéologiques, la texture et la sensation en bouche des produits alimentaires; ainsi, ils trouveraient une application dans l'industrie alimentaire en tant que viscosifiant, stabilisant, émulsifiant ou gélifiant (propriétés rhéologiques).
- ✓ La bactérie *Streptococcus zooepidemicus* produit un polymère d'Acide hyaluronique compatible avec le système immunitaire humain. Il est employé pour améliorer la biocompatibilité des prothèses.
- ✓ Polysaccharide capsulaire d'E. coli K5 possède une unité répétitive d'acide β -D-Glucuronique lié en 1 $\rightarrow$ 4 à de l' α -Nacétylglucosamine très peu immunogène chez l'homme.

Ce polymère a la même structure qu'un précurseur de l'héparine, le N-acétylhéparosane et peut donc servir de substrat pour les enzymes impliquées dans la biosynthèse de l'héparine (anti-coagulant).