

Surfaces faciles à stériliser grâce aux lasers femtosecondes

25 février 2026, 14:52

Felipe Baroni

Comment la nanotexturation limite l’adhésion bactérienne sans revêtements

Les bactéries deviennent problématiques lorsqu’elles s’attachent aux surfaces et forment des biofilms. Dans les secteurs des soins de santé, de l’agroalimentaire, de l’emballage ou des systèmes de traitement de l’eau, même des résidus minimes peuvent entraîner une recolonisation entre deux cycles de nettoyage. Les surfaces antibactériennes suscitent donc un intérêt croissant. Non pas en substitution des pratiques d’hygiène, mais comme un complément intelligent visant à limiter l’adhésion dès l’origine et à faciliter le nettoyage.

Pourquoi l'adhésion bactérienne est plus difficile à contrôler qu’il n’y paraît

L'adhésion bactérienne ne dépend jamais d’un facteur unique. Elle varie selon l’espèce (morphologie, rigidité de la paroi cellulaire, mobilité, polymères extracellulaires) et selon l’environnement, notamment l’humidité, la température, les écoulements et la présence de résidus

organiques.

La surface elle-même joue un rôle déterminant. L'énergie de surface, la charge et la mouillabilité influencent les premiers contacts. La **rugosité et la topographie aux échelles micro- et nanométriques** déterminent souvent le maintien de l’adhésion bactérienne.

Une texture performante dans un contexte donné peut se révéler inefficace dans un autre. C'est pourquoi il est essentiel de procéder à des essais dans des conditions réalistes. Si vous souhaitez obtenir des performances fiables, vous devez prendre en compte l’ensemble du système, et pas seulement le matériau.



Deux stratégies pour des surfaces antibactériennes

Deux grandes approches permettent de créer un comportement antibactérien.

1. Surfaces biocides

Ces surfaces éliminent activement les bactéries. Elles reposent sur la libération d'agents antibactériens ou sur des mécanismes de destruction par contact.

Malgré leur efficacité, plusieurs **points critiques** doivent être examinés?:

- Durabilité à long terme
- Libération potentielle de composés actifs
- Exigences d'autorisation réglementaire
- Résistance à l'exposition répétée aux détergents, à la stérilisation et à l'usure mécanique

Dans de nombreux environnements industriels, la robustesse constitue un critère déterminant. Toute diminution d'activité au fil du temps affecte la fiabilité.

2. Surfaces à effet structural

Les approches fondées sur la structure visent à empêcher une fixation stable. Plutôt que d'éliminer les bactéries, la surface rend l'adhésion **mécaniquement ou énergétiquement défavorable**.

L'objectif est clair?: limiter la colonisation précoce, retarder la formation de biofilms et améliorer l'efficacité des procédures de nettoyage usuelles. Cette approche, indépendante de tout revêtement ou additif chimique, gagne en attractivité pour les applications industrielles exigeant **robustesse et compatibilité avec les procédés**.



Théorie des points d’ancrage et rôle de la nanotopographie

Pourquoi la structure joue-t-elle un rôle aussi déterminant??

La théorie des points d’ancrage apporte un éclairage pertinent. La majorité des bactéries mesurent entre 1 et 2 micromètres. Elles sont relativement rigides et, contrairement aux cellules mammifères, ne s’étalent pas. La force d'adhésion dépend fortement du nombre de points de contact stables établis avec la surface.

Lorsqu’une surface présente de nombreuses vallées ou rainures accessibles à l’échelle cellulaire, les bactéries peuvent s’y ancrer solidement.

Une topographie qui limite le contact continu (pics, pentes abruptes, discontinuités) affaiblit l’adhésion.

À l’échelle nanométrique, des structures acérées ou à fort rapport d’aspect peuvent induire des contraintes mécaniques locales sur l’enveloppe cellulaire, ce qui décourage l’installation durable et la croissance précoce des colonies.



e d’un état «?
la chimie du

Pourquoi la texturation par laser femtoseconde fait la différence

Les lasers femtosecondes assurent un contrôle précis de la nanotopographie de surface. Un exemple bien connu est celui des **structures de surface périodiques induites par laser** (**LIPPS** en anglais), des ondulations nanométriques générées de manière contrôlée et reproductible.

En ajustant la fluence, le recouvrement des impulsions, la stratégie de balayage et la polarisation, il devient possible de produire des **nanotextures définies**, et non une rugosité aléatoire.

Pour la conception antibactérienne, ce niveau de contrôle est déterminant. Les **LIPSS** permettent notamment de?:

- Réduire la surface de contact effective avec les bactéries
- Limiter le nombre et la qualité des points d’ancrage stables
- Fragiliser les colonies à un stade précoce

Les premières heures suivant une contamination sont décisives. Une adhésion instable durant cette phase ralentit la formation de biofilms. Selon la morphologie, les ondulations peuvent également favoriser le détachement lors des opérations de nettoyage.

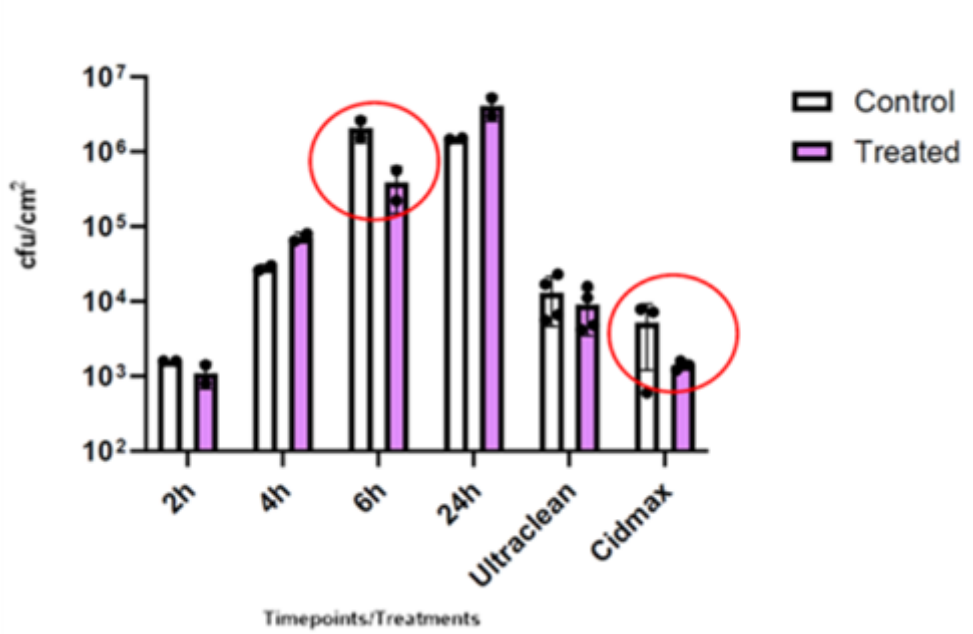
Du concept à la validation chez Sirris

Sirris développe actuellement des **surfaces faciles à stériliser** basées sur cette approche structurale. Les applications ciblées couvrent notamment les poignées de porte et rampes dans les établissements de soins, ainsi que des composants de machines dans les environnements agroalimentaires et pharmaceutiques.

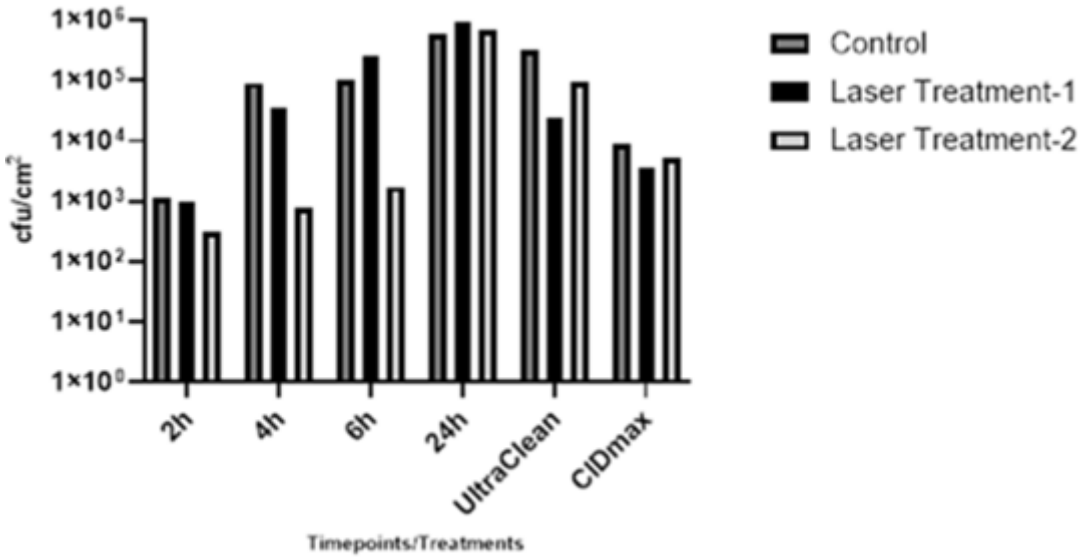
Les essais ont été réalisés dans un **réacteur à biofilm de type CDC**. Les surfaces ont été ensemencées avec une bactérie, Staphylococcus aureus, à une concentration de 2 × 10? UFC par millilitre pendant 24 heures à 37 °C.

Des échantillons en acier inoxydable et en titane ont été texturés par LIPSS à différentes longueurs d’onde, de l’UV (environ 350 nanomètres) à l’infrarouge (1?035 nanomètres). Les cellules viables ont été quantifiées après 2, 4, 6 et 24 heures. Des mesures complémentaires ont suivi un protocole de nettoyage et de désinfection utilisant des agents alcalins (UltraClean) et acides (Cidmax).

Dans les figures ci-dessous, le graphique 1 présente des LIPSS UV sur acier inoxydable, tandis que le graphique 2 illustre des LIPSS IR sur titane.?



Graphique 1.?LIPSS générées par UV sur acier inoxydable



Graphique 2. LIPSS générées par IR sur titane

Nos observations?:

- Sur acier inoxydable, les LIPSS UV ont nettement réduit l'adhésion après 6 heures et après désinfection, confirmant l'effet «?facile à stériliser?»
- Sur titane, les LIPSS IR ont fortement limité la formation de biofilm durant les six premières heures. Après stérilisation, l'effet reste observable, bien que moins marqué

Vers des surfaces antibactériennes robustes, sans revêtement

Dans des conditions d'essai contrôlées, les LIPSS ont réduit l'adhésion bactérienne par rapport aux matériaux non traités. Les effets les plus marqués apparaissent lors des phases d'incubation précoce et après nettoyage, selon le substrat et les paramètres laser.

Ces résultats mettent en évidence le potentiel de la structuration de surface induite par laser femtoseconde dans l'ingénierie de surfaces antibactériennes. Une conception fondée sur la structure contribue à limiter la formation initiale de biofilms et à améliorer la nettoyabilité. En concevant des motifs à l'échelle nanométrique avec un haut niveau de précision et de répétabilité, la texturation par laser femtoseconde pourrait devenir un complément précieux aux stratégies chimiques, sous réserve de validations supplémentaires dans des conditions représentatives des applications.

Prochaines étapes vers des composants industriels

La phase de recherche suivante dépasse le cadre des éprouvettes planes pour s'orienter vers des composants fonctionnels. Les pièces réelles présentent souvent des géométries courbes et des formes complexes, nécessitant des stratégies de traitement adaptées.

Les travaux en cours portent donc sur la validation des performances antiadhésives sur des composants industriels exposés à des cycles répétés de nettoyage, à l'usure mécanique et à des scénarios de contamination réalistes.

Cette étape de validation est essentielle pour transposer les résultats de laboratoire en solutions industrielles fiables. Après optimisation et adaptation aux usages visés, les surfaces nanotexturées contribueront à des conceptions plus hygiéniques et plus robustes dans les domaines de la santé, de l'agroalimentaire et de l'industrie.

Vous étudiez des solutions de surfaces antibactériennes ou faciles à stériliser pour vos produits ou installations??

Sirris vous accompagne dans l'évaluation de stratégies de texturation laser, la réalisation d'essais dans des conditions réalistes et la transposition des résultats en composants industriels. Évaluons ensemble comment la nanotexturation peut renforcer votre stratégie d'hygiène.

Contactez-nous

Cet article a été rédigé dans le cadre du projet BBBC FEMTOFUNC, avec le soutien du SPF Économie.

Auteurs



Felipe Baroni