

► Dans le cadre de l'unité d'enseignement « Analyse Scientifique », les étudiants en master 2 du parcours Innovation en Biotechnologies du master Biologie Moléculaire et Cellulaire (BMC) de Sorbonne Université, en partenariat avec le CFA des Sciences, ont été confrontés aux exigences de l'écriture scientifique. Cette formation en apprentissage, labellisée par le pôle de compétitivité Medicen, a pour ambition de préparer de futurs cadres capables d'appréhender la complexité du secteur des biotechnologies, à l'interface entre recherche fondamentale et applications industrielles en santé, environnement et cosmétique.

Les articles présentés sont choisis par les étudiants, selon leur domaine de prédilection, sous l'encadrement de Marco Da Costa, Sophie Louvet et Juliette Puyaubert. À partir de publications originales, les étudiants en binôme ont rédigé une synthèse mettant en lumière les résultats majeurs et les enjeux des travaux étudiés, offrant ainsi un regard neuf et engagé sur quelques-unes des avancées les plus prometteuses des biotechnologies contemporaines. ◀

Partenariat médecine/sciences - Écoles doctorales - Masters (72)

L'actualité scientifique vue
par les étudiants du Master 2 Biologie
Moléculaire et Cellulaire (BMC),
parcours « Innovation en Biotechnologies »
de Sorbonne Université



Responsable pédagogique

Dr. Marco Da Costa
Maître de Conférences
Sorbonne Université, Faculté des Sciences
et Ingénierie
Co-responsable du Master 1 Innovation
en Biotechnologies, Master BMC



Série coordonnée par Claire Deligne

NOUVELLE

Pré- et probiotiques cutanés

Moduler le microbiote axillaire pour contrôler les odeurs corporelles

Gwendoline Joncour , Sam Saghbini

Master 2 Biologie Moléculaire & Cellulaire, parcours
« Innovation en Biotechnologies »,
Sorbonne Université, Paris, France.
joncour.g@orange.fr
sam_sagh@yahoo.fr

Introduction

L'odeur corporelle constitue une préoccupation sociale croissante. Le traitement des odeurs corporelles est d'autant plus complexe qu'elles sont le résultat d'une interaction entre l'individu et des microbes qu'il abrite [1-4]. En effet, la région des aisselles abrite une communauté microbienne complexe et dynamique, désignée sous le terme de

microbiote axillaire [2, 5]. Celui-ci se caractérise par une forte diversité microbienne, comprenant plusieurs millions de bactéries, champignons, virus, archées et acariens [5], et remplit des fonctions immunitaires essentielles, notamment en constituant la première ligne de défense cutanée contre la colonisation par des agents pathogènes [5, 6]. Un déséquilibre de ce microbiote, ou dysbiose, peut

engendrer diverses conséquences sur la santé de l'hôte, notamment une modification des odeurs corporelles [1, 6]. Les stratégies conventionnelles de contrôle de ces odeurs peuvent perturber cet équilibre et favoriser l'apparition de pathologies [2, 6], justifiant le développement récent d'approches thérapeutiques basées sur l'utilisation de pré- et probiotiques. Cette revue analyse les

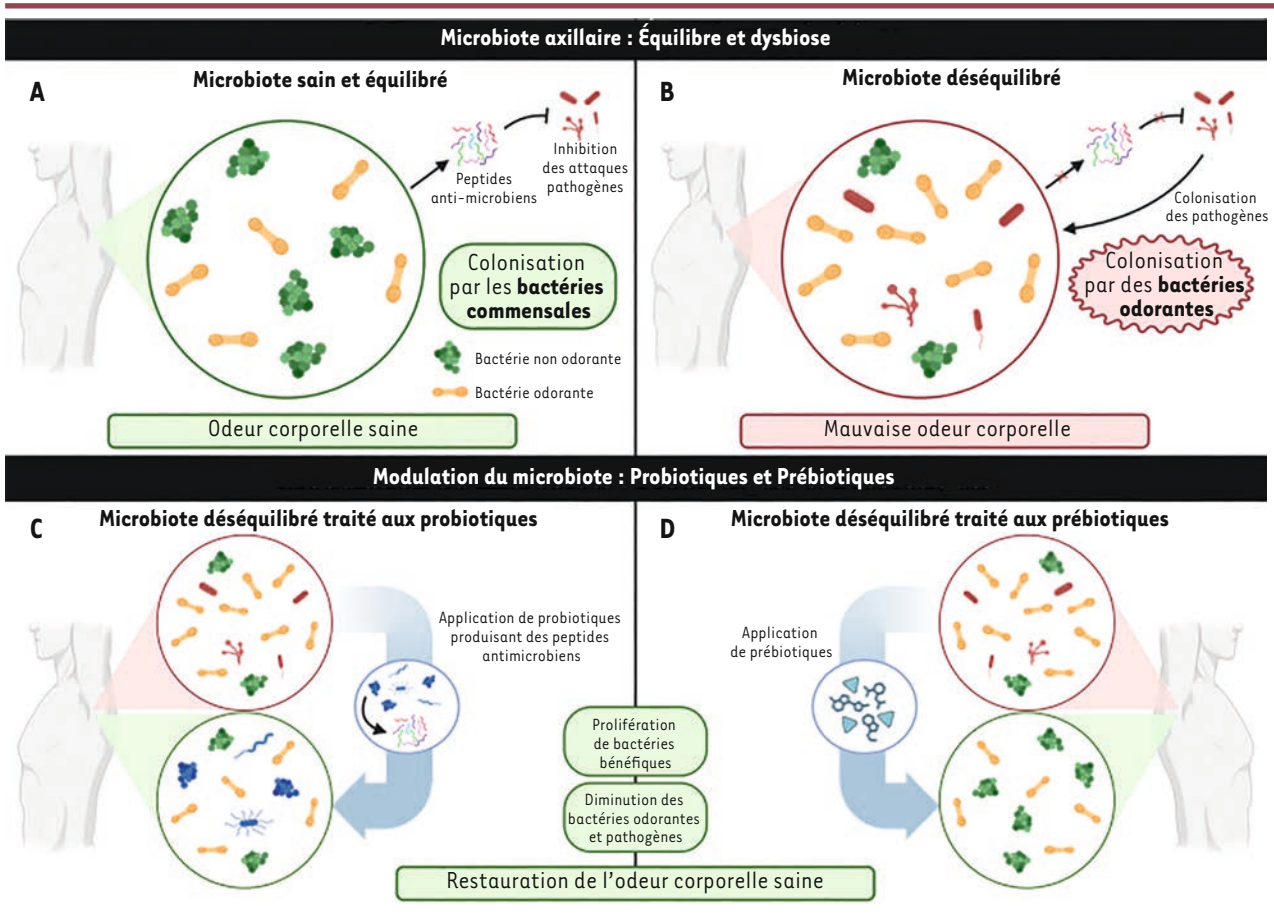


Figure 1. Schéma de l'impact des probiotiques et prébiotiques cutanés sur la production d'odeur corporelle en lien avec une dysbiose du microbiote axillaire. Le microbiote sain (A) se caractérise par une répartition équilibrée des genres bactériens garantissant une fonction immunitaire efficace et une odeur corporelle saine. Un microbiote déséquilibré (B) présente, ici, une surabondance d'espèces impliquées dans la formation d'odeurs corporelles et une diminution de certaines espèces commensales non odorantes. Le traitement d'un microbiote déséquilibré avec des probiotiques (C) permet la diminution des pathogènes par la production de peptides anti-microbiens et la colonisation du milieu par des espèces/souches saines afin de restaurer l'équilibre bactérien. L'utilisation de prébiotiques (D) favorise la prolifération des bactéries bénéfiques au détriment des pathogènes ce qui contribue à la résilience du microbiote axillaire. Ces deux solutions thérapeutiques permettent de rétablir un microbiote équilibré exerçant une fonction immunitaire efficace et donc de retrouver une production d'odeur corporelle saine. Figure réalisée avec BioRender.com dans le cadre de l'accord n° IQ29DRLQ6J.

stratégies de manipulation du microbiote, responsable des odeurs axillaires, par les pré- et probiotiques, en détaillant leurs principes d'action et leurs performances actuelles.

Le microbiote axillaire : composition et rôle dans la production d'odeurs corporelles

La région des aisselles est un environnement humide, favorable au développement d'un microbiote unique, riche et diversifié [2, 5]. Celui-ci est composé de différents types de microor-

ganismes, notamment des bactéries commensales, dont les genres *Staphylococcus*, *Corynebacterium* et *Anaerococcus* sont les plus représentés [1, 2, 6]. Il joue un rôle dans la santé de l'hôte en éduquant le système immunitaire [6], et constitue une barrière de protection pour la peau en limitant la croissance de microorganismes pathogènes [5, 6]. Enfin, il est également impliqué dans la transformation des composés présents dans la sueur, ce qui provoque l'émission d'odeurs corporelles (Figure 1A) [1-3].

La transpiration est produite par différents types de glandes sudoripares [2, 3, 7]. Parmi celles-ci, les glandes apocrines, directement associées aux poils, sécrètent des graisses, stéroïdes et protéines, tandis que les glandes eccrines libèrent des composés hydrophiles comme les sels et l'acide lactique [2]. Parmi ces sécrétions se trouvent des molécules présentant des résidus de glutamine et de cystéinylglycine [3], qui sont métabolisés par les bactéries du microbiote axillaire, notamment par celles des genres *Corynebacterium* et

Staphylococcus [1-3]. La métabolisation de ces composés, initialement inodores, produit des acides carboxyliques et des thioalcools odorants [1, 3, 7], qui sont ensuite diffusés dans l'air avec l'évaporation de la sueur [2, 3]. Non seulement ces précurseurs sont très nombreux, mais la composition du microbiote peut aussi affecter la proportion des molécules relarguées par les bactéries, ce qui complexifie la lutte contre les odeurs corporelles [1, 3].

La composition du microbiote axillaire varie selon différents facteurs, comme l'âge, le genre, l'hygiène personnelle, les facteurs génétiques et le statut hormonal [1, 3, 5]. Par exemple, la population de *Staphylococcus hominis* au sein du microbiote axillaire chez les personnes d'origine asiatique est en moyenne 30 % supérieure à celle des populations caucasiennes ou hispaniques, ce qui peut moduler la production d'odeurs corporelles [7]. Par ailleurs, tout changement affectant l'un de ces facteurs, tel que l'utilisation de nouveaux produits cosmétiques, peut favoriser l'apparition d'une dysbiose marquée par une diminution du nombre de bactéries commensales, qui fragilise la barrière cutanée et favorise la colonisation de la zone par des espèces responsables de mauvaises odeurs ou par des pathogènes à l'origine d'infections cutanées (Figure 1B) [2, 3, 7, 8]. Cependant, les données sur les proportions exactes des souches bactériennes déterminant l'intensité des odeurs corporelles demeurent limitées [7], rendant d'autant plus difficile la définition d'une odeur corporelle « saine ».

Les traitements innovants dans la régulation des odeurs axillaires

De nombreuses solutions sont proposées pour lutter contre les mauvaises odeurs corporelles comme l'injection de botox, l'ablation chirurgicale des glandes sudoripares, l'utilisation de déodorants ou le traitement au laser [2, 3]. Cependant, la majorité de ces méthodes bloque ou diminue la

transpiration, ou élimine les bactéries du microbiote axillaire [2, 3, 7], ce qui peut altérer la physiologie de l'individu ou provoquer une dysbiose du microbiote et, paradoxalement, aggraver ces odeurs. Face à ces limites, de nouvelles solutions moins agressives et moins invasives ont été envisagées [2, 4]. Les probiotiques et prébiotiques, largement utilisés en agroalimentaire et en santé [2, 9], ont d'ores et déjà démontré leur efficacité dans le traitement de pathologies cutanées [8, 9], ce qui a donc conduit à explorer leur potentiel dans la gestion des odeurs corporelles, donnant lieu à trois approches complémentaires [2, 4, 9]. La première approche repose sur l'utilisation des probiotiques, des microorganismes vivants qui, appliqués en quantité adéquate, procurent des bénéfices pour la santé de l'hôte [2, 9]. Administrés topiquement, ils colonisent la zone traitée, inhibant ainsi la croissance de microorganismes non désirés, notamment via des peptides antimicrobiens (Figure 1C) [5, 9, 10]. Cette approche permet de réduire sélectivement certaines populations bactériennes non odorantes, sans perturber les interactions déjà existantes au sein du microbiote et de coloniser efficacement la surface et les structures profondes de la peau [2, 8, 9].

L'utilisation de probiotiques a donc été étudiée pour lutter contre les mauvaises odeurs. Une crème, contenant 16 % de *Lactobacillus pentosus* KCA1 lyophilisés, a été testée sur 25 adultes sains [10]. Après 14 jours d'application, l'analyse des séquences d'ARN ribosomiques, permettant d'étudier les proportions des espèces au sein de la population bactérienne étudiée, a révélé une diminution d'environ 30 % des *Corynebacterium* et une réduction chez les sujets masculins de l'expression de 103 gènes métaboliques bactériens, dont certains liés à la production de thiols volatils [10]. Ces résultats mettent en avant l'intérêt de ce probiotique pour moduler les odeurs corporelles.

L'équipe du Dr Chris Callewaert, au Centre pour l'Écologie et la Technologie Microbienne de l'Université de Gand en Belgique, développe actuellement une nouvelle génération de déodorants à base de *Staphylococcus*. Lors d'une interview, il a pu exposer des résultats très prometteurs et non publiés de leur étude clinique en cours, impliquant plus de 60 patients souffrant de bromhidrose. Cette méthode offre l'avantage d'être simple d'application et peu invasive. Selon le Dr Callewaert, « le microbiote est plus facile à manipuler que les glandes apocrines sans conséquence néfaste, et sa modulation constitue une solution novatrice et pleine de potentiel pour l'avenir ».

La seconde approche consiste à stimuler la croissance de microorganismes bénéfiques du microbiote via l'utilisation de prébiotiques [9]. Ces substrats métaboliques favorisent le développement de populations microbiennes commensales et non odorantes et réduisent la croissance de microorganismes indésirables au niveau de la zone traitée (Figure 1D) [2, 8, 9]. Une première molécule prébiotique synthétique, le 2-butylolctanol, a été introduit à 3 % dans un déodorant [8]. Son application entraîne une diminution de 68 % de l'abondance relative de *Corynebacterium*, alors que des *Staphylococcus* bénéfiques pour la peau (comme *S. epidermidis*) voient leur croissance favorisée à plus de 38 % [8]. Un autre prébiotique, issu de la fermentation de graines de *Lotus corniculatus* avec des *Lactobacillus acidophilus* KNU-02, a été testé sur 18 volontaires [4]. Son utilisation a permis de réduire l'intensité des odeurs corporelles de 7 %, l'expression de gènes bactériens liés à la production d'odeurs de 20 % [4] et l'abondance de *Corynebacterium* de 75 % [4], montrant vraisemblablement un effet anti-odeur. Ces effets positionnent ces prébiotiques comme une solution prometteuse dans le traitement des mauvaises odeurs [4, 8].

Enfin, la troisième approche vise à tirer parti de certains effets spécifiques

établis entre prébiotiques et probiotiques pour optimiser le contrôle du microbiote axillaire [9]. Cependant, en raison de la complexité de ces effets combinés, aucune étude n'a encore démontré de réduction significative des odeurs corporelles au niveau de cette zone.

Discussion & Conclusion

Actuellement, la plupart des études cliniques portant sur l'utilisation des pré- et probiotiques pour contrôler le microbiote axillaire ont été menées sur un nombre restreint de sujets et le recul dans le temps demeure insuffisant pour évaluer d'éventuels risques pour la santé ou pour l'environnement à long terme [8-10]. Ces travaux mériteraient donc d'être étendus à plus d'individus, sur des périodes prolongées [8, 9]. Dans ce contexte, les techniques modernes de biologie moléculaire et approches de multiomique constituent des outils prometteurs pour mieux caractériser le microbiome et ses interactions [9]. Par ailleurs, l'utilisation des pré- et probiotiques dans les produits cosmétiques reste très

réglementée et nécessite une réflexion approfondie afin d'optimiser leur efficacité, stabilité et viabilité, notamment à travers le choix des souches, des doses et des formulations [4, 8, 9], pour envisager une mise sur le marché conforme aux exigences de sécurité et d'efficacité [9].

Dans cette perspective, l'association de pré- et probiotiques dans le traitement des odeurs corporelles représente un champ de recherche largement inexploré [9]. Ces combinaisons constituent une solution innovante pouvant permettre à la fois de moduler plus finement l'écosystème axillaire et d'adapter les réponses aux spécificités individuelles d'odeurs corporelles [1, 9]. ♦

Cutaneous pre- and probiotics: Modulating the axillary microbiome to control body odors

CONFLITS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêt.

RÉFÉRENCES

1. Troccaz, M. et al. Mapping axillary microbiota responsible for body odours using a culture-independent approach. *Microbiome* 3, 3 (2015).

2. Callewaert, C., Lambert, J. & Van De Wiele, T. Towards a bacterial treatment for armpit malodour. *Experimental Dermatology* 26, 388–391 (2017).
3. Natsch, A. What Makes Us Smell: The Biochemistry of Body Odour and the Design of New Deodorant Ingredients. *Chimia* 69, 414 (2015).
4. Kim, M.-J. et al. Effect of a bioconverted product of *Lotus corniculatus* seed on the axillary microbiome and body odor. *Sci Rep* 11, 10138 (2021).
5. Dunyach-Remy, C., Sotto, A. & Lavigne, J.-P. Le microbiote cutané : étude de la diversité microbienne et de son rôle dans la pathogénicité. *Revue Francophone des Laboratoires* 2015, 51–58 (2015).
6. Zhu, Y., Yu, X. & Cheng, G. Human skin bacterial microbiota homeostasis: A delicate balance between health and disease. *mLife* 2, 107–120 (2023).
7. Li, M. et al. The influence of age, gender and race/ethnicity on the composition of the human axillary microbiome. *Intern J of Cosmetic Sci* 41, 371–377 (2019).
8. Li, M., Truong, K., Pillai, S., Boyd, T. & Fan, A. The potential prebiotic effect of 2-Butyloctanol on the human axillary microbiome. *Int J Cosmet Sci* 43, 627–635 (2021).
9. Yadav, M. K., Kumari, I., Singh, B., Sharma, K. K. & Tiwari, S. K. Probiotics, prebiotics and synbiotics: Safe options for next-generation therapeutics. *Appl Microbiol Biotechnol* 106, 505–521 (2022).
10. Onwuliri, V., Agbakoba, N. R. & Anukam, K. C. Topical cream containing live *Lactobacilli* decreases malodor-producing bacteria and downregulates genes encoding PLP-dependent enzymes on the axillary skin microbiome of healthy adult Nigerians. *J Cosmet Dermatol* 20, 2989–2998 (2021).

