



ÉCOLOGIE, ENVIRONNEMENT, MICROBIOLOGIE

Une bactérie complètement givrée

Les bactéries sont partout, dans nos intestins, au fond des océans, dans les profondeurs de la terre et jusque dans les nuages. Nous ne connaissons aujourd’hui que quelques milliers d’«espèces», ce qui n’en constitue qu’une infime partie. Pourtant certaines d’entre elles sont bien connues des chercheurs, comme *Pseudomonas syringae* qui possède un mode de vie extraordinaire capable d’influencer la météo !

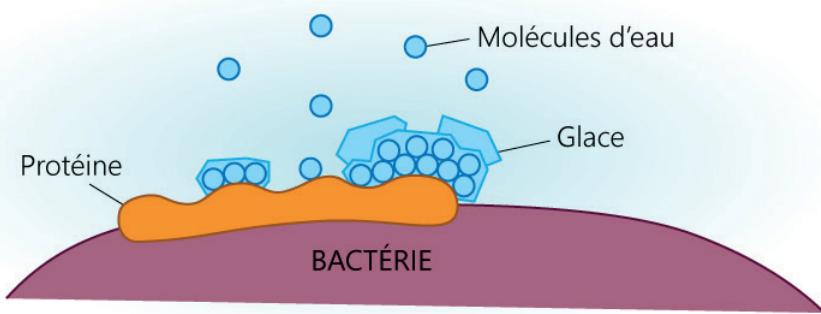


Auprès de mon arbre, je vivais heureuse

Notre histoire commence au niveau du sol, sur les plantes. C'est ici que vivent les colonies de *Pseudomonas syringae*, elles se nourrissent des nutriments à la surface des feuilles et exploitent les moindres blessures de ces dernières afin de proliférer, causant parfois des maladies chez les végétaux.

Cependant, à l'échelle d'une bactérie, la vie sur une plante n'est pas de tout repos. En une journée, une feuille peut être humide, sèche, à l'ombre, au soleil... Dans un environnement aussi changeant, les bactéries passent leur temps à se reproduire et mourir, mais aussi à muter et à s'adapter. Et en termes d'adaptations, les *Pseudomonas syringae* ne sont pas en reste.

Autour de 0°C, des protéines présentes sur leur membrane provoquent la formation de minuscules cristaux de glace qui serviront de support à la formation de cristaux de plus en plus gros. Elles font ainsi partie du groupe des bactéries dites «activatrices de nucléation de glace», ce qui leur permet de s'entourer d'une protection de glace isolante, comme un petit igloo.



Les protéines INA (*Ice Nucleation Protein*), dans la membrane des bactéries, vont positionner les molécules d'eau dans une configuration particulière qui va les faire cristalliser. Cette propriété permet notamment à l'eau de geler plus rapidement et à des températures moins froides.

Si cette couche de glace est un avantage pour ces bactéries, elle l'est beaucoup moins pour les plantes. À basse température, les feuilles se retrouvent ainsi couvertes de cristaux de glace créés par des millions de bactéries : le givre. Bien que beaucoup de plantes se soient adaptées à ces manteaux glacés en hiver, elles y restent sensibles. Heureusement pour elles, les jours froids ne durent pas éternellement.



Plante recouverte de cristaux de givre. © Thomas Bresson

On s'envole, on s'envole !

La grande majorité de l'année, il fait plus de 0°C et il y a du soleil. Ce sont dans ces conditions que les plantes font la photosynthèse. Grâce à l'énergie du soleil, elles récupèrent le dioxyde de carbone dans l'atmosphère afin de synthétiser des sucres pour leur survie et leur croissance. Suite à ces réactions chimiques, elles relâchent ensuite du dioxygène. Ces échanges de gaz se font via les stomates, de petites valves sur les feuilles s'ouvrant dans les conditions favorables.

En s'ouvrant, les stomates laissent aussi s'échapper l'eau contenue dans les plantes. Cette évapotranspiration par les feuilles permet la circulation de la sève de bas en haut. Dans ces conditions, les feuilles deviennent pour les très petites et très légères bactéries de gigantesques souffleries. Si beaucoup d'entre elles restent sur les feuilles, les autres vont décoller vers le ciel.

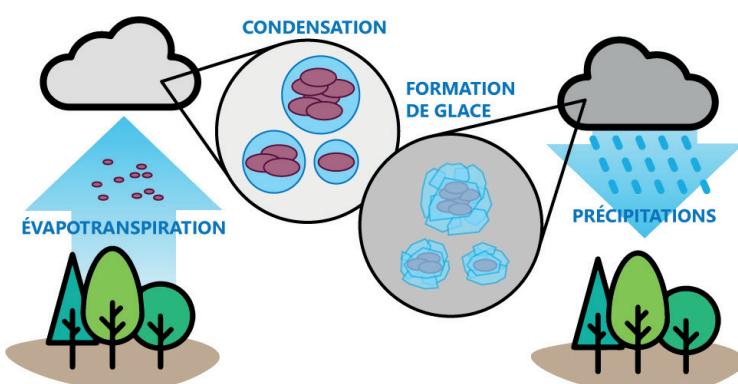


Plusieurs *Pseudomonas syringae* s'infiltrant dans un stomate à la surface d'une feuille. © James Kremer & Sheng Yang He via Howard Hughes Medical Institute

Sur un petit nuage

Une fois arrachées de leur feuille, les *Pseudomonas syringae* continuent leur périple dans l'atmosphère. Elles s'accrochent à leurs voisines, ou à tout ce qui passe à proximité, comme de minuscules grains de poussière, puis elles sont entraînées au gré des vents et des courants d'air chaud. Plusieurs centaines de ces petites boules par mètre carré s'élèvent ainsi vers les nuages chaque seconde.

Leur voyage se termine à quelques kilomètres d'altitude. Avec le froid, la vapeur d'eau contenue dans l'air va redevenir liquide, de minuscules gouttelettes se forment alors autour des particules microscopiques qui ont été emportées jusqu'ici : poussières, spores de champignons, grains de pollen, et aussi les bactéries. Après ce long périple, elles vont faire partie de ces microparticules qui condensent la vapeur d'eau, formant les gros amas blanchâtres dans le ciel que sont les nuages.



La température des nuages varie entre 0°C et -40°C. Juste en dessous de 0°C, la vapeur d'eau se condense autour des particules et forme des gouttelettes. Autour de -5°C, les bactéries sont les seules capables d'activer la nucléation de la glace. Lorsque les cristaux de glaces créés par les bactéries deviennent trop lourds, ils retombent sous forme de précipitations.

La membrane pleine de protéines des bactéries reste active et va être capable d'activer la nucléation de la glace. Avec toute l'eau contenue dans un nuage, les cristaux ainsi créés vont vite devenir de plus en plus gros. Lorsqu'ils seront trop lourds, ils vont tomber sous forme de goutte d'eau en emportant les bactéries. Dans certaines conditions, elles participent ainsi à la création de la pluie !

Le retour à la terre, la boucle est bouclée

Les précipitations ramènent les *Pseudomonas syringae* sur la terre ferme. Elles retombent sur les forêts, les prairies, les champs et colonisent de nouvelles plantes. Les chutes de pluies sont nécessaires à la croissance des plantes et provoquent aussi de gros pics de croissance chez ces colonies de bactéries. Mais étonnamment ce n'est pas l'eau qui est en cause mais la force avec laquelle les gouttes de pluie tombent !



Ce mécanisme est encore peu connu mais la chute des gouttes d'eau blesse légèrement les feuilles, faisant ressortir leur sève pleine de nutriment par des micro-coupures ce qui permettrait aux *Pseudomonas syringae* de proliférer. Il est aussi possible que la violence de l'impact puisse éjecter les autres bactéries, laissant le champ libre aux *Pseudomonas syringae*.

Présentes partout dans le monde, ces bactéries existent depuis des centaines de millions d'années. En influençant les précipitations, elles procurent ainsi un avantage à toute leur espèce. La capacité d'activer la nucléation de la glace est donc liée à la survie de ces organismes et aurait été sélectionnée au fil de l'évolution. Plus fort encore, les précipitations induites par ces bactéries dans le passé seraient même à l'origine de la colonisation du milieu terrestre par les plantes, façonnant l'environnement tel qu'on le connaît aujourd'hui.

■ Hugo Le Chevalier

Références bibliographiques

- Amato, P., Parazols, M., Sancelme, M., Laj, P., Mailhot, G., & Delort, A. M. (2007). Microorganisms isolated from the water phase of tropospheric clouds at the Puy de Dôme: major groups and growth abilities at low temperatures. *FEMS Microbiology Ecology*, 59(2), 242-254.
<https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2006.00199.x>
- Attard, E., Yang, H., Delort, A. M., Amato, P., Pöschl, U., Glaux, C., ... & Morris, C. E. (2012). Effects of atmospheric conditions on ice nucleation activity of *Pseudomonas*. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(22), 10667-10677.
<https://doi.org/10.5194/acp-12-10667-2012>
- Harrison, R. M., Jones, A. M., Biggins, P. D., Pomeroy, N., Cox, C. S., Kidd, S. P., ... & Beswick, A. (2005). Climate factors influencing bacterial count in background air samples. *International Journal of Biometeorology*, 49(3), 167-178.
<https://doi.org/10.1007/s00484-004-0225-3>
- Hirano, S. S., Baker, L. S., & Upper, C. D. (1996). Raindrop momentum triggers growth of leaf-associated populations of *Pseudomonas syringae* on field-grown snap bean plants. *Applied and environmental microbiology*, 62(7), 2560-2566.
<https://doi.org/10.1128/AEM.62.7.2560-2566.1996>
- Iannone, R., Chernoff, D. I., Pringle, A., Martin, S. T., & Bertram, A. K. (2011). The ice nucleation ability of one of the most abundant types of fungal spores found in the atmosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(3), 1191-1201.
<https://doi.org/10.5194/acp-11-1191-2011>
- Hoose, C., Kristjánsson, J. E., & Burrows, S. M. (2010). How important is biological ice nucleation in clouds on a global scale? *Environmental Research Letters*, 5(2), 024009.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/2/024009>
- Lindemann, J., Constantinidou, H. A., Barchet, W. R., & Upper, C. D. (1982). Plants as sources of airborne bacteria, including ice nucleation-active bacteria. *Applied and environmental microbiology*, 44(5), 1059-1063.
<https://doi.org/10.1128/AEM.44.5.1059-1063.1982>
- Maki, L. R., Galyan, E. L., Chang-Chien, M. M., & Caldwell, D. R. (1974). Ice nucleation induced by *Pseudomonas syringae*. *Applied microbiology*, 28(3), 456-459.
- Möhler, O., DeMott, P. J., Vali, G., & Levin, Z. (2007). Microbiology and atmospheric processes: the role of biological particles in cloud physics. *Biogeosciences Discussions*, 4(4), 2559-2591.
<https://doi.org/10.5194/bg-4-1059-2007>
- Morris, C. E., Georgakopoulos, D. G., & Sands, D. C. (2004, December). Ice nucleation active bacteria and their potential role in precipitation. In *Journal de Physique IV (Proceedings)* (Vol. 121, pp. 87-103). EDP sciences.
<https://doi.org/10.1051/jp4.2004121004>
- Morris, C. E., Sands, D. C., Vinatzer, B. A., Glaux, C., Guilbaud, C., Buffiere, A., ... & Thompson, B. M. (2008). The life history of the plant pathogen *Pseudomonas syringae* is linked to the water cycle. *The ISME journal*, 2(3), 321.
<https://doi.org/10.1038/ismej.2007.113>
- Morris, C. E., Conen, F., Alex Huffman, J., Phillips, V., Pöschl, U., & Sands, D. C. (2014). Bioprecipitation: a feedback cycle linking Earth history, ecosystem dynamics and land use through biological ice nucleators in the atmosphere. *Global change biology*, 20(2), 341-351.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12447>
- Pandey, R., Usui, K., Livingstone, R. A., Fischer, S. A., Pfaendtner, J., Backus, E. H., ... & Scheel, J. F. (2016). Ice-nucleating bacteria control the order and dynamics of interfacial water. *Science advances*, 2(4), e1501630.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1501630>
- Phillips, V. T. J., Choularton, T. W., Illingworth, A. J., Hogan, R. J., & Field, P. R. (2003). Simulations of the glaciation of a frontal mixed-phase cloud with the Explicit Microphysics Model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 129(590), 1351-1371.
<https://doi.org/10.1256/qj.02.100>

 Photo en-tête : Judith Wi ; photo intro : Heinz Klier
 Schémas : Ad Naturam