

BactoScore

Surveillance précise des communautés microbiennes.

Au-delà du nombre de cellules : détecter les changements de la communauté microbienne avec BactoScore

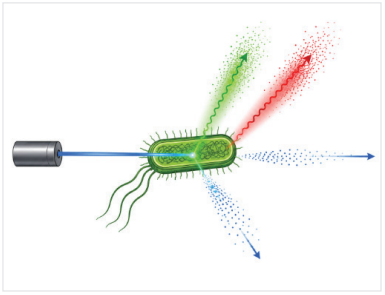
Depuis plus de dix ans, la cytométrie en flux en ligne a profondément changé ce que les services des eaux et les exploitants industriels savent de la microbiologie de leur eau, ainsi que la rapidité avec laquelle ils peuvent agir. Pourtant, la plupart des installations n'exploitent encore qu'une seule valeur issue de chaque mesure : le nombre de cellules. BactoScore, l'algorithme d'empreinte microbienne intégré à BactoCloud de bNovate, va plus loin en détectant les changements au sein même de la communauté microbienne.

Qu'est-ce que BactoScore et comment ça fonctionne ?

Chaque mesure BactoSense enregistre généralement des milliers de cellules individuelles, chacune caractérisée par des signaux de fluorescence et de diffusion de la lumière. Une analyse conventionnelle réduit toutes ces informations à une seule valeur : le nombre de cellules. BactoScore conserve au contraire la distribution multidimensionnelle complète formée par ces signaux cellulaires et la condense en une signature : l'empreinte microbienne. Chaque nouvelle empreinte est comparée à une mesure ou à une période de référence à l'aide d'une mesure mathématique de distance multidimensionnelle, puis est convertie en un score unique pouvant être suivi dans le temps.

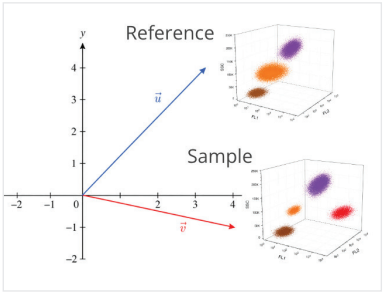
bNovate
TECHNOLOGIES

1. MESURER L'ÉCHANTILLON



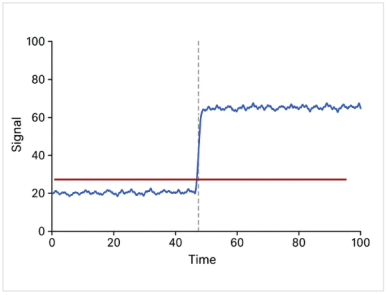
FL1, FL2, SSC, FSC pour chaque cellule mesurée

2. COMPARER À LA RÉFÉRENCE



Représenter l'échantillon sous forme de **vecteur** et calculer la **distance mathématique** par rapport à la référence

3. SUIVRE LA TENDANCE ET DÉCLENCHER UNE ALARME



BactoScore indique la « dissimilarité » = **changement de la composition microbienne**

Deux échantillons présentant un nombre de cellules identique peuvent avoir des empreintes très différentes, et BactoScore rend cette différence mesurable. Il détecte les changements anormaux de la communauté microbienne dès que le profil microbiologique de l'eau s'écarte de son état habituel. BactoScore n'identifie pas les organismes présents ; cela nécessite toujours une analyse en laboratoire. Mais savoir aussi rapidement que la composition a changé constitue souvent l'information décisive.

Du nombre de cellules aux empreintes microbiennes

La cytométrie en flux s'est imposée en microbiologie de l'eau potable comme un complément rapide et indépendant de la culture au comptage sur boîte : reproductible, indépendant de l'instrument et sensible non seulement aux variations de l'abondance microbienne, mais également à l'équilibre entre les sous-populations à forte et faible teneur en acides nucléiques (HNA/LNA) (Prest et al. 2013).

Au cours de la décennie suivante, la méthode est devenue une discipline à part entière. Les comptages cellulaires par cytométrie en flux ont remis en question le comptage sur boîte pour la surveillance de routine, des indicateurs de diversité ont été calculés directement à partir des données cytométriques multidimensionnelles et des empreintes microbiennes ont été utilisées pour détecter des événements opérationnels dans des installations à l'échelle réelle (Props et al. 2016 ; Van Nevel et al. 2017 ; Safford & Bischel 2019 ; Favere et al. 2020 ; Claveau et al. 2024).

bNovate a contribué à ces avancées grâce à plusieurs développements clés. Une première méthode informatique permettant de détecter des événements microbiens anormaux a été développée (Sadler et al. 2020). Par la suite, les algorithmes d'empreinte microbienne de bNovate ont été utilisés dans des études collaboratives portant sur les systèmes d'eau chaude et froide domestiques ainsi que sur les sources karstiques alpines (Egli et al. 2024 ; Campostrini et al. 2026).

Un obstacle freinait toutefois encore une adoption plus large : ces méthodes fonctionnaient hors ligne, au moyen de pipelines R ou Python personnalisés nécessitant une expertise en science des données. La validité scientifique était démontrée, mais la pratique restait réservée aux spécialistes. Avec le lancement de BactoCloud, l'analyse des empreintes microbiennes est devenue accessible à tous : exploitants d'installations d'eau, ingénieurs des systèmes d'eau et scientifiques.

BactoScore, l'une des fonctions d'analyse avancées de BactoCloud, offre une solution prête à l'emploi pour comprendre les changements des communautés microbiennes : aucun script, aucun pipeline de données et aucune expertise en science des données ne sont nécessaires. Ce qui nécessitait auparavant une équipe de recherche se fait désormais en quelques clics.

Ce que révèlent les changements de la communauté microbienne

Un changement de la communauté microbienne correspond à une modification des organismes présents ou de leurs proportions relatives, que le nombre de cellules varie ou non. Le suivi de cette composition est important :

- **Il signale une instabilité et une possible perte de maîtrise.** Lorsque l'eau ne présente plus son empreinte caractéristique, le système n'est plus dans son état de fonctionnement habituel.
- **Il constitue un indicateur sensible d'une intrusion contaminante.** Une faible intrusion peut modifier la communauté tout en ayant très peu d'impact sur le nombre de cellules. L'empreinte peut donc réagir en premier.
- **Il contribue à l'évaluation des risques.** Lorsqu'une augmentation du nombre de cellules s'accompagne d'un changement de la communauté, cela indique qu'un élément nouveau ou anormal est entré dans le système. Cette information permet d'affiner l'évaluation des risques, en particulier pour les eaux qui présentent naturellement de fortes fluctuations du nombre de cellules.

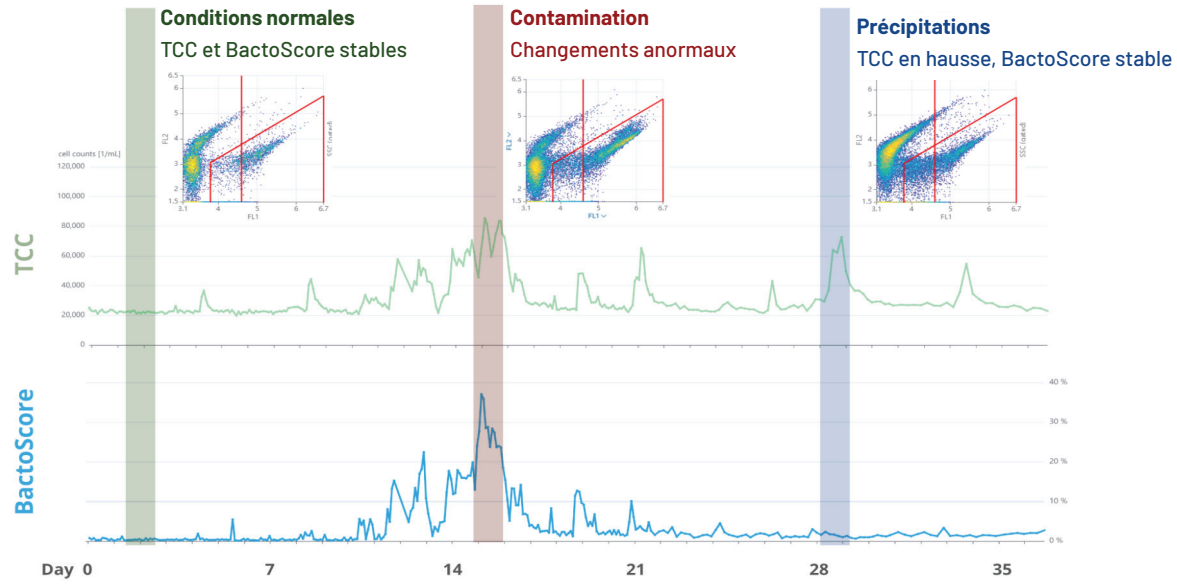
Comment BactoScore complète le nombre de cellules

	Nombre total de cellules (TCC	BactoScore
Mesure	Une valeur : cellules par mL	La distribution cytométrique complète, exprimée sous forme de changement (%) par rapport à une composition de référence
Répond à la question	Combien de cellules sont présentes ?	Dans quelle mesure la composition de la communauté a-t-elle changé ?
N'indique pas	La composition	Les espèces individuelles
Sensibilité à un changement de communauté	Faible : un nombre de cellules stable peut masquer une communauté modifiée	Élevée : détecte un changement même lorsque le nombre de cellules reste stable
Temps jusqu'au résultat	20 minutes	À partir de la même mesure

Les deux indicateurs sont importants, car ils fournissent des informations complémentaires et indépendantes. Et tous deux peuvent être extraits de la même mesure, sans réactif supplémentaire ni délai additionnel. Pour votre installation, le nombre de cellules reste la référence quantitative. BactoScore vient le compléter en indiquant si la communauté microbienne derrière ce nombre a changé.

Un exemple concret : la surveillance de l'eau de source

La détection des changements des communautés microbiennes est particulièrement importante dans les eaux brutes de source et les eaux souterraines. C'est précisément dans ce contexte que le service des eaux suisse WWZ utilise BactoScore. Depuis 2025, BactoSense surveille les quatre sources d'eau brute de son installation d'eau de source et fournit à la fois les nombres de cellules et les BactoScores via BactoCloud.



Légende : Surveillance de l'eau de source à l'aide du nombre total de cellules (graphique supérieur) et de BactoScore (graphique inférieur), montrant des réponses différentes aux événements de contamination et de précipitations.

Après des précipitations, les nombres de cellules augmentent généralement. Un BactoScore stable indique aux exploitants que les communautés microbiennes n'ont pas changé. Puis, durant l'été 2025, les deux indicateurs ont évolué simultanément. Quelques jours plus tard, le laboratoire a confirmé une contamination fécale de l'eau brute.

Grâce à la combinaison du nombre de cellules et de BactoScore, WWZ peut détecter immédiatement les changements anormaux. Retrouvez l'étude complète dans Aqua & Gas (Zimmermann et al. 2026, en allemand et en français).

« Aucun changement anormal » : ce que BactoScore permet concrètement de suivre

Le cadre réglementaire renforce également ce constat. Dans la refonte de la directive européenne relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine (2020/2184), la teneur en colonies à 22 °C est un paramètre indicateur (annexe I, partie C) pour lequel aucune limite numérique fixe n'est définie. L'exigence est simplement qu'il n'y ait **aucun changement anormal**. Il s'agit donc d'un paramètre destiné à la surveillance plutôt que d'un critère de conformité fondé sur une valeur limite fixe.

Le nombre de cellules complété par BactoScore donne une dimension opérationnelle à cette exigence : une référence définie pour les deux indicateurs et une mesure continue et objective de tout écart par rapport à cette référence, en quelques minutes plutôt qu'après les plusieurs jours nécessaires à une méthode de culture. Avec la transmission chiffrée des données, leur enregistrement et les pistes d'audit de BactoCloud, cette approche devient un processus quotidien traçable et auditable.

Commencer avec BactoScore

L'empreinte microbienne est déjà présente dans chaque mesure BactoSense. BactoScore ne fait que la transformer en un signal exploitable. Aucun nouveau matériel, aucun réactif supplémentaire et aucune programmation ne sont nécessaires :

1. **Inscrivez-vous à BactoCloud sur bactocloud.com/register.** L'offre de base est gratuite ; BactoScore est inclus dans BactoCloud Pro.
2. **Connectez votre BactoSense.** Donnez à votre analyseur un accès à Internet et connectez-le à BactoCloud.
3. **Activez BactoScore** en quelques clics.

Depuis des décennies, le nombre de cellules nous indique *combien* de cellules sont présentes. BactoScore répond enfin à une question tout aussi importante : *l'eau est-elle toujours la même* ? Et pour chaque BactoSense déjà installé sur le terrain, la réponse n'est qu'à quelques clics.

S'INSCRIRE À BACTOCLOUD

RÉSERVER UNE DÉMO BACTOSENSE

Questions fréquentes

BactoScore est-il influencé par le nombre de cellules ?

Non. BactoScore est calculé à partir de la forme de l'empreinte cytométrique, c'est-à-dire de la distribution relative des signaux de fluorescence et de diffusion, et non du nombre absolu de cellules. Comme la comparaison sous-jacente, basée sur une mesure de distance multidimensionnelle, est indépendante de la valeur absolue, le nombre de cellules d'un échantillon peut augmenter ou diminuer tandis que son BactoScore reste stable, et inversement. C'est précisément cette indépendance qui permet à BactoScore de révéler des changements de la communauté qu'un simple nombre de cellules ne permettrait pas de détecter.

BactoScore est-il compatible avec tous les instruments et toutes les cartouches ?

Oui. BactoScore fonctionne à partir des données de tout BactoSense connecté à BactoCloud Pro, quel que soit le modèle de l'instrument ou le type de cartouche. L'empreinte est déjà contenue dans chaque mesure. Aucun instrument, aucune cartouche et aucun réactif spécifique ne sont donc nécessaires.

Comment suis-je alerté lorsque la composition microbienne change ?

De la même manière que pour tout autre paramètre dans BactoCloud : définissez un seuil d'alarme pour BactoScore et choisissez le mode de notification souhaité: par e-mail, SMS ou via l'API pour une intégration à votre système SCADA ou à votre système de contrôle.

RÉFÉRENCES SÉLECTIONNÉES

- Prest, E.I., Hammes, F., Kötzsch, S., van Loosdrecht, M.C.M., Vrouwenvelder, J.S. (2013). Monitoring microbiological changes in drinking water systems using a fast and reproducible flow cytometric method. *Water Research* 47(19), 7131–7142. https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.07.051
- Props, R., Monsieurs, P., Mysara, M., Clement, L., Boon, N. (2016). Measuring the biodiversity of microbial communities by flow cytometry. *Methods in Ecology and Evolution* 7, 1376–1385. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12607
- Van Nevel, S., Koetzsch, S., Proctor, C.R., Besmer, M.D., Prest, E.I., Vrouwenvelder, J.S., Knezev, A., Boon, N., Hammes, F. (2017). Flow cytometric bacterial cell counts challenge conventional heterotrophic plate counts for routine microbiological drinking water monitoring. *Water Research* 113, 191–206. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.065

- Safford, H.R., Bischel, H.N. (2019). Flow cytometry applications in water treatment, distribution, and reuse: A review. *Water Research* 151, 110–133. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.028
- Sadler, M.C., Senouillet, J., Kuenzi, S., Grasso, L., Watson, D.C. (2020). Computational surveillance of microbial water quality with online flow cytometry. *Frontiers in Water* 2, 586969. https://doi.org/10.3389/frwa.2020.586969
- Favere, J., Buysschaert, B., Boon, N., De Gusseme, B. (2020). Online microbial fingerprinting for quality management of drinking water: Full-scale event detection. *Water Research* 170, 115353. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115353
- Egli, T., Campostrini, L., Leifels, M., Füchslin, H.P., Kolm, C., Dan, C., Zimmermann, S., Hauss, V., Guiller, A., Grasso, L., Shajkofci, A., Farnleitner, A.H., Kirschner, A.K.T. (2024). Domestic hot-water boilers harbour active thermophilic bacterial communities distinctly different from those in the cold-water supply. *Water Research* 253, 121109. https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121109
- Claveau, L., Hudson, N., Jeffrey, P., Hassard, F. (2024). Assessing microbial growth in drinking water using nucleic acid content and flow cytometry fingerprinting. *iScience* 27(12), 111511. https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.111511
- Campostrini, L., Demeter, K., Linke, R., Poelz, A., Stevenson, M.E., Derx, J., Jakwerth, S., Lindner, G., Shajkofci, A., Grasso, L., Peer, S., Zessner, M., Kirschner, A.K.T., Farnleitner, A.H. (2026). Performance of on-site flow cytometry for near-real-time microbiological analysis of alpine karst drinking water resources. *npj Clean Water* 9, 6. https://doi.org/10.1038/s41545-025-00536-5
- Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council on the quality of water intended for human consumption (recast).
- Zimmermann, K., Steffen, M., Gross, M., Kaufmann, S. (2026). Automatisierte mikrobiologische Quellwasserüberwachung. *Aqua & Gas* 7/8-2026.