

# Assurer la sécurité de l'eau potable grâce à un cytomètre de flux

bNovate Technologies SA

## Abstract

For the needs of the “Mova” scout camp which took place in Goms (Switzerland), in 2022, more than 30,000 participants were supplied with drinking water through a temporary network specially built for this purpose.

The implementation of an automated control system has made it possible to guarantee impeccable quality of drinking water. The system was set up based on a hazard and risk analysis, as well as online field measurements and laboratory analyses.

Pour les besoins du camp scout « Mova » qui s'est déroulé en 2022 à Goms (Suisse), plus de 30 000 participants ont été approvisionnés en eau potable par le biais d'un réseau temporaire spécialement construit à cet effet. La mise en place d'un système de contrôle automatisé a permis de garantir une qualité irréprochable de l'eau potable. Le système a été mis en place sur la base d'une analyse des dangers et des risques, ainsi que des mesures en ligne sur le terrain, et des analyses en laboratoire.



**Fig. 1**  
Vue aérienne du camp scout « Mova » entre Geschinen et Obergesteln, à Goms (Suisse).

## CONTEXTE ET DÉFIS

Pendant deux semaines, près de 30 000 scouts suisses ont campé à Goms, dans le Valais. Au total, 5000 aides de camp ont participé à la mise en place des infrastructures nécessaire sur 120 hectares (Fig. 1). Un réseau temporaire, avec différents sous-réseaux, a été mis en place pendant toute la durée de l'événement pour approvisionner le camp en eau potable. Plus de 9 km de conduites d'eau ont été posés, alimentés par l'eau de source provenant des communautés d'Obergoms et de Goms. L'association organisatrice a chargé l'équipe « Hygiène de l'eau » d'élaborer un système d'autocontrôle et d'analyse des risques incluant l'identification des points de contrôle critiques, pour s'assurer que l'eau, en plus d'être potable, était microbiologiquement sûre.

L'approvisionnement du site en eau potable s'est heurté à de nombreuses

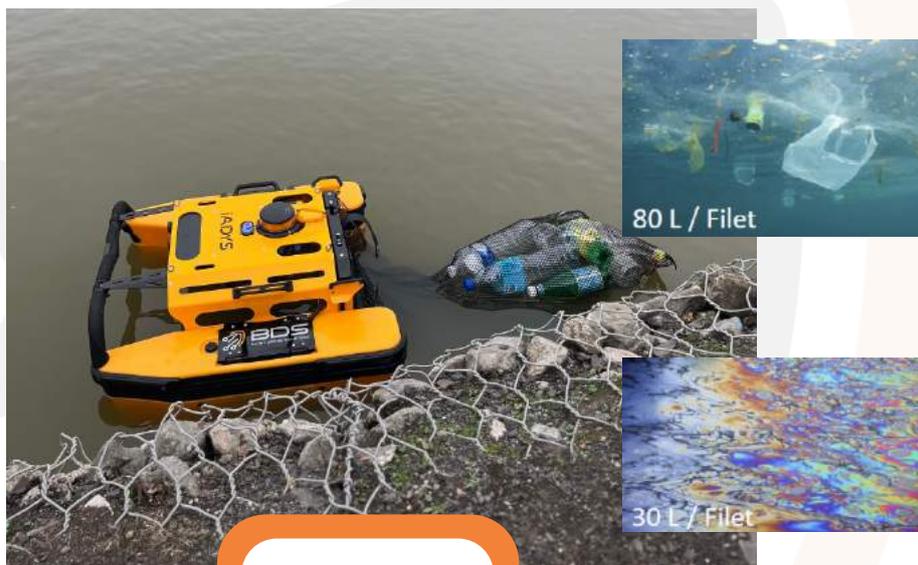
difficultés liées aux contraintes du lieu et à des délais limités. Le réseau a été mis en place en une semaine et demie, et la vidange s'est faite directement au fur et à mesure de l'avancement des travaux, qui portaient sur des infrastructures bien plus vastes que le seul réseau d'eau potable. Les systèmes sanitaires et d'évacuation des eaux usées étaient une condition préalable importante pour le rinçage des conduites. En effet, pour protéger le sol, le rinçage ne pouvait se faire que dans les eaux de surface, les conduites d'eau météorique ou le réseau d'égouts. Des retards dans la construction des réseaux sanitaires et d'eaux usées ont compliqué la mise en service du réseau et ont rendu impossible les rejets échelonnés. Les rejets basés sur des analyses microbiologiques en laboratoire auraient dû être validés par des analyses de cytométrie de flux. Mais en raison des contraintes de temps liées



# BDS

BATHY DRONE SOLUTIONS

## DÉPOLLUTION PAR DRONE



## INSPECTION



## BATHYMETRIE



## BATHYMÉTRIE, PRÉLÈVEMENTS ET INSPECTIONS PAR DRONES AQUATIQUES, SUBAQUATIQUES ET TERRESTRES

Nous adaptons nos matériels selon vos besoins  
**Nos drones peuvent répondre à tous types d'inspections.**

BATHY DRONE SOLUTIONS

Zone Industrielle - 10 rue des dames - 62620 Ruitz.

03 21 57 29 12 - [contact@bathydronesolutions.com](mailto:contact@bathydronesolutions.com)

à la construction et à la mise en service, le réseau n'était pas encore stable le jour de l'ouverture. Par conséquent, la confirmation des analyses de laboratoire par cytométrie de flux n'a pas pu être effectuée comme prévu. La consommation en eau totale du camp « Mova » a pu être calculée à l'avance, mais la consommation des différents sous-réseaux était difficile à prévoir. Le réseau a été mis en service alors qu'une partie seulement du grand village de tentes était installée. À ce moment-là, environ 10 000 personnes s'approvisionnaient en eau potable et l'eau circulait peu dans le grand réseau. Par conséquent, il y a eu une stagnation partielle et un réchauffement de l'eau. Avec l'arrivée des 30 000 participants trois jours plus tard, la consommation d'eau a été multipliée en peu de temps, ce qui a entraîné une baisse de pression à certaines extrémités. Par conséquent, la quantité d'eau disponible a diminué et le risque de contamination dû à la pression négative a augmenté.

**MISE EN ŒUVRE DE L'AUTOCONTRÔLE**

Pour contrôler en toute sécurité les risques microbiologiques, un concept global d'autocontrôle a été élaboré sur la base de la directive relative aux bonnes pratiques en matière d'approvisionnement en eau potable [1]. Ce concept fixe des exigences pour le réseau, le matériel, l'échantillonnage et le transport des échantillons, formule des points de contrôle critiques avec une analyse des dangers et évalue les risques correspondants (Tab. 1).

Les dangers suivants susceptibles d'entraîner une contamination microbiologique ont été identifiés : stagnation, échauffement, contamination au niveau de la canalisation, contamination de l'eau brute ou contamination lors de l'alimentation du réseau « Mova » (tableau 3).

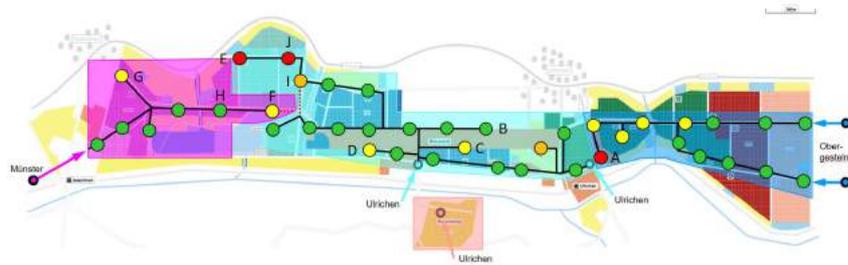
Les valeurs d'alerte suivantes ont été définies : température supérieure à 15 °C, une numération sur plaque des bactéries hétérotrophe supérieure à 200 UFC/ml, un nombre total de cellules (TCC) supérieur à 50 000 et un taux de bactéries à haute teneur en acide nucléique (HNA: High Nucleic Acid) supérieur à 50%. Ces deux dernières valeurs obtenues grâce à la cytométrie en flux ont permis de procéder à une évaluation approximative de la qualité. Le concept d'autocontrôle prévoyait des examens microbiologiques réguliers et des mesures de la température de l'eau après la mise en service (cf. Tab. 2). Les points examinés ont été sélectionnés en fonction du risque ; outre la surveillance régulière du réseau, l'accent a été mis sur les points de stagnation, les points finaux et les points de consommation par des consommateurs sensibles (cabinet d'urgence, crèche).

Les résultats des analyses ont été directement intégrés dans l'évaluation globale en cours. De cette manière, les changements ont été rapidement identifiés et des investigations complémentaires ont été menées sur la base de ces

changements ou des mesures ont été prises. Le contrôle de la température, dont le délai d'obtention des résultats est le plus court, a fourni des indications rapides et importantes sur une éventuelle contamination microbiologique. C'est pourquoi les températures ont souvent été mesurées dans le réseau et surtout aux points finaux (Tab. 2). Afin de garantir un dosage correct de la chloration secondaire, le concept d'auto-surveillance prévoyait des mesures régulières sur le terrain. Environ 0,02-0,10 mg/l de chlore libre ont été mesurés dans le réseau « Mova ».

**LE CYTOMÈTRE DE FLUX EN SERVICE**

Un cytomètre de flux a été installé sous le système d'assainissement au point H (Fig. 1), en plus d'autres appareils de mesure en ligne pour les paramètres physiques. Il a fourni des données en continu sur le TCC et le ratio HNA/LNA (cellules fortement et faiblement fluorescentes). En outre, le concept d'auto-surveillance prévoyait des mesures manuelles d'échantillons provenant de sous-réseaux supplémen-



**Fig. 2** Réseau « Mova » avec les quatre sous-réseaux Münster (violet), Ulrichen (turquoise, rose) et Obergesteln (bleu). La qualité de l'eau aux points sanitaires et aux lignes de décapage « Mova » est représentée par un système de feux tricolores, où les couleurs représentent les résultats de la température de l'eau, du TCC, de la numération sur plaque des bactéries hétérotrophe, et des entérocoques et d'E. coli.

Analyse	Durée de la mesure	Nombre d'échantillons
Temperature	1s	>500
Nombre total de cellules	~ 30 min	319 en ligne
		58 manuel
E. coli et entérocoque	~ 24 h	105
Numération sur plaque hétérotrophe	~ 72 h	23

**Tab. 1** Aperçu des analyses pour l'autocontrôle dans le réseau « Mova ».

taires. Ainsi, le TCC a pu être déterminé sur place en peu de temps. La cytométrie en flux présente donc des avantages par rapport aux analyses de numération sur plaque des bactéries hétérotrophes, en particulier pour la détection générale de la croissance bactérienne [2]. Lorsque la consommation d'eau était faible avant l'arrivée des participants (18-22 juillet), une croissance accrue a été observée. Les mesures ont montré une augmentation simultanée du TCC

et du rapport HNA/LNA: une croissance préférentielle des grandes cellules (Fig. 3). Ce phénomène a pu être contrôlé par le rinçage. Ceci est évident avec les baisses du TCC les 20 et 22 juillet.

Le sous-réseau d'Ulrichen a été divisé en deux à l'entrée du site (un sous-réseau à Ulrichen et un sous-réseau à Münster). La station de mesure en ligne a donc d'abord analysé l'eau du réseau municipal d'Ulrichen, puis celle de Münster (ligne rouge sur la figure 8). Microbiologiquement, l'eau de Münster (commune de Goms) ne diffère que légèrement de l'eau d'Ulrichen

(commune d'Obergoms). Cette différence n'est pas inhabituelle pour les eaux de source, de sorte qu'il n'a pas été nécessaire de procéder à des analyses plus approfondies.

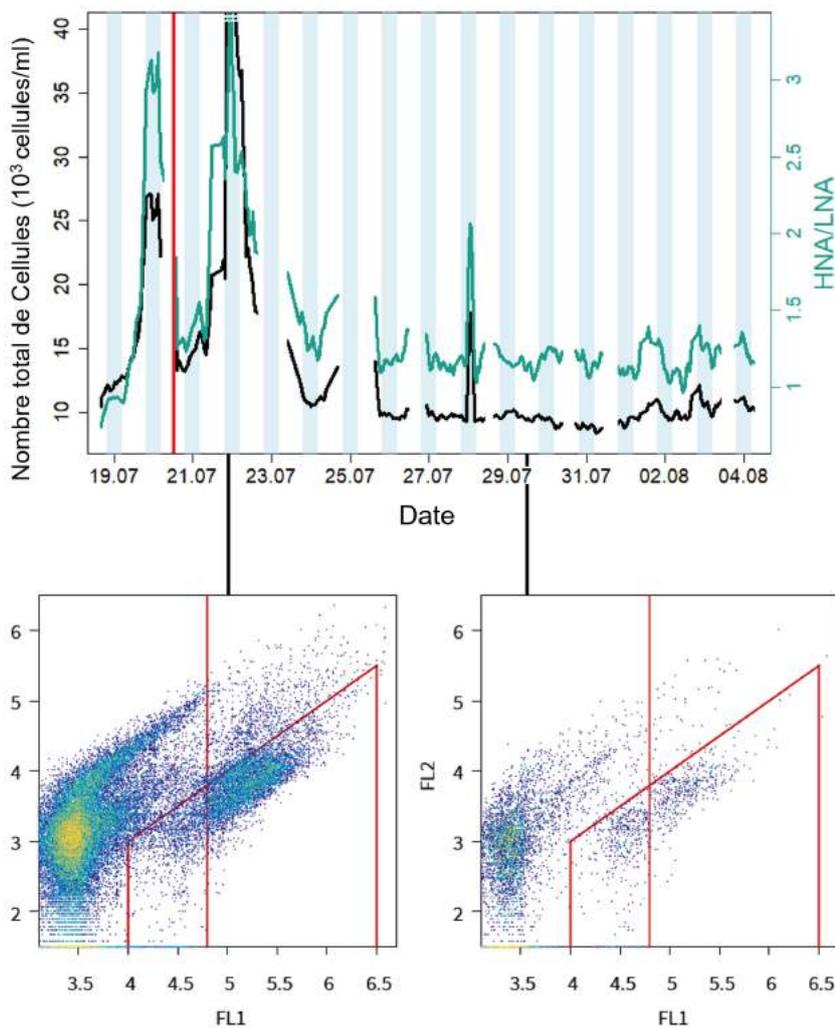
Au cours du stockage, le TCC est resté constant autour de 10 000 cellules/ml en raison de la forte consommation d'eau et a de nouveau été fortement corrélé avec la teneur en HNA (Fig. 2). En outre, une corrélation entre la température et le TCC serait attendue puisque les températures élevées favorisent la croissance des cellules.

**QUAND LA PRESSION DE L'EAU EST INSUFFISANTE**

À certains moments, le débit de l'eau dans les conduites était faible au niveau des installations sanitaires au point final E et au point d'eau J en amont. Il y a donc eu une baisse de pression dans cette ligne terminale. En raison de la chute de pression, de l'eau sale a probablement pénétré dans la conduite par un raccord non étanche. Grâce à l'autosurveillance, la contamination (Fig. 3) a été rapidement détectée et des mesures appropriées ont été prises. Les zones concernées ont été fermées, désinfectées à l'aide d'un système de dosage mobile, rincées et, par la suite, adaptées structurellement. Le réservoir Hubel, d'où provient l'eau du sous-réseau d'Ulrichen, a donc été doté d'une protection préventive supplémentaire du réseau à partir du 27 juillet. Le tronçon entre les points d'eau E et J a été reconstruit au bout de trois jours et les analyses de laboratoire n'ont plus révélé la présence d'indicateurs fécaux (Fig. 3).

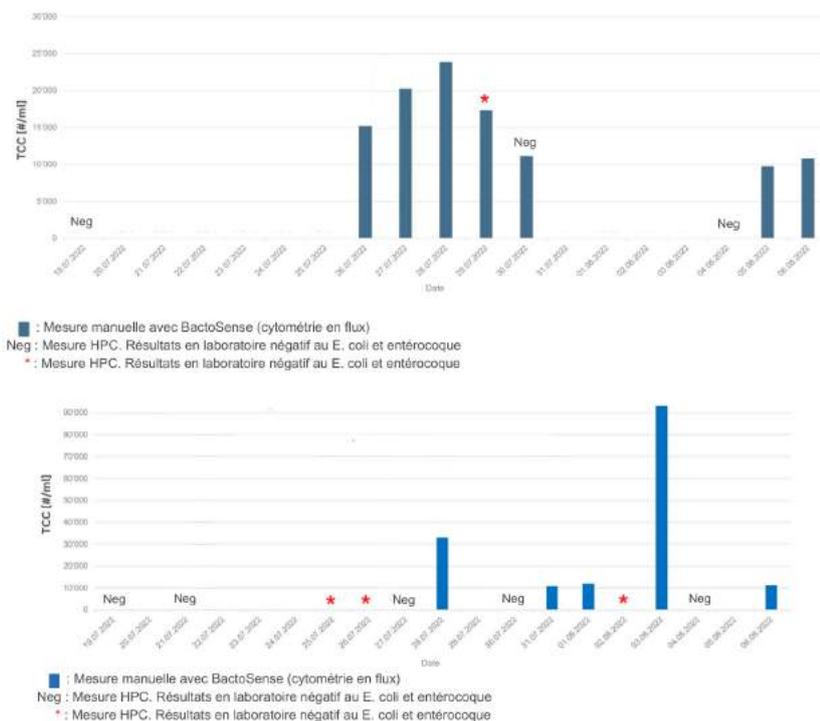
En principe, un nombre total de cellules élevé et des rapports HNA/LNA élevés sont corrélés à la détection d'indicateurs fécaux en laboratoire. Par exemple, un TCC élevé a été mesuré à l'unité d'assainissement I le 28 juillet, et le rapport HNA/LNA a été largement dépassé. Les tests de laboratoire effectués le lendemain ont également donné un résultat positif. Lorsqu'une valeur d'alerte microbiologique était dépassée, une évaluation de la situation globale était toujours effectuée et des mesures appropriées étaient prises. Celles-ci allaient d'une surveillance plus intensive d'un endroit spécifique à la chloration d'urgence, en passant par le rinçage de sections de conduites. Dans le cas du système sanitaire I, un rinçage approfondi a suffi. Le feu vert a été donné dès le lendemain, lorsqu'une inspection de suivi a été rapidement effectuée; aucun autre indicateur fécal n'a été détecté (Fig. 3). En général, l'augmentation du débit a été la mesure la plus fréquente, par exemple en cas de température excessive de l'eau.

La possibilité de mesurer le TCC sur place et en 30 minutes a permis un échantillonnage ciblé et des mesures de suivi en laboratoire, ainsi que la mise en place de mesures rapides pour garantir la qualité de l'eau potable pour



**Fig. 3 En haut :** évolution temporelle du TCC et du rapport HNA/LNA à la station de mesure en ligne (point H dans la figure 7). Le camp s'est déroulé du 23 juillet au 6 août 2022. La station de mesure en ligne a analysé au début du stockage, de l'eau provenant du réseau d'Ulrichen, puis du réseau de Münster. La division du sous-réseau Ulrichen est marquée par une ligne rouge dans la partie supérieure du graphique.

**En bas :** Les deux diagrammes en pointillés illustrent la différence entre la consommation d'eau faible et la consommation d'eau élevée. Les deux graphiques illustrent la différence entre une consommation d'eau faible et une consommation d'eau élevée.



**Fig. 3 :**  
**Liste chronologique des résultats de laboratoire et des résultats des mesures manuelles du cytomètre de flux. Les résultats du laboratoire sont arrivés 2 jours plus tard que ne l'indiquent les étoiles rouges. Les barres bleues montrent les valeurs de TCC. Les jours sans barres, aucun échantillon n'a été analysé manuellement**

environ 30 000 personnes pendant deux semaines. Toutefois, les données collectées ont également montré que les analyses de laboratoire restent essentielles pour fournir des informations plus détaillées sur la nature de la contamination.

## CONCLUSION

L'exploitation en toute sécurité d'une infrastructure temporaire d'approvisionnement en eau potable pour 30 000 personnes est un défi. En particulier lorsque l'infrastructure doit être construite et mise en service rapidement, tout en répondant à des normes élevées. La préparation à différents scénarios et le concept global d'autocontrôle ont fait leurs preuves. La contamination microbologique de l'eau potable a été identifiée à l'avance comme le plus grand danger pour la santé. Les résultats des

analyses de laboratoire l'ont confirmé. Elles ont pu être effectuées sur place. Les résultats, rapidement disponibles, ont été continuellement intégrés dans l'évaluation des risques. Cela signifie que des mesures peuvent être prises rapidement et directement. Toutes les contaminations importantes ont pu être détectées et corrigées rapidement. Cette surveillance étroite a mis en évidence les défis posés par une infrastructure temporaire de distribution d'eau potable. Un tel réseau doit être étroitement surveillé tout au long de sa durée de vie.

## BOÎTE À MÉTHODES

### DÉTERMINATION DU NOMBRE TOTAL DE CELLULES PAR CYTOMÉTRIE EN FLUX EN LIGNE

Le cytomètre en flux (BactoSense) avec cartouche TCC a été utilisé pour

le contrôle continu et ponctuel du nombre de cellules dans l'eau potable. Par coloration de l'ADN avec un colorant fluorescent (SYBR GREEN I) et par mesure optique, toutes les bactéries et les cellules de l'eau potable ont été dénombrées.

Proportions des différentes fractions cellulaires évaluées [3]:

## TCC

Le nombre total de cellules indique le nombre de bactéries, qu'elles soient cultivables ou non.

## CELLULES HNA

La fraction cellulaire à haute teneur en acide nucléique se compose de bactéries de grande taille, plutôt allongées et faciles à cultiver. Cette fraction comprend, par exemple, E. coli.

## CELLULES LNA

Il s'agit de petites bactéries arrondies avec une proportion plus faible d'ADN, qui ne peuvent être produites que dans certaines conditions et qui sont cultivables.

Exemple de résultat de cytométrie de flux: À l'intérieur de la «fenêtre» rouge se trouvent les bactéries représentées par la ligne verticale.

Elles peuvent être divisées en deux fractions (HNA et LNA) [2].

## TESTS DE LABORATOIRE

Les tests microbiologiques de laboratoire (paramètres selon TBDV) ont été réalisés dans un laboratoire accrédité selon ISO 17025:

- Indicateurs fécaux E. coli sur gélose CCA (ISO 9308) dans les 24 h
- Indicateurs fécaux Entérocoques à l'aide du test rapide Enterolert DW (test de présence/absence) dans les 24 heures.
- Bactéries aérobies mésophiles (numération sur plaque des bactéries hétérotrophe) sur gélose dans les 72 h (ISO 6222) ●



## Références bibliographiques

**SSIGE :** Directive W12 - Lignes directrices pour une bonne pratique dans l'approvisionnement en eau potable.  
**EGLI, T. ET AL. (2008) :** Nouvelles méthodes d'évaluation de l'hygiène de l'eau potable. Eawag News [éd.] 65: 20-23

**HO, J. ET AL. (2020) :** Rapport final DVGW, développement et validation de la cytométrie en flux comme méthode de détection rapide des bactéries dans l'eau brute et l'eau potable.