

Fiche-Info 4

Ingénierie de l'eau

Fiche-info 4.2 – Capteurs et autres matériels dédiés au suivi de la qualité des eaux traitées



SUWANU EUROPE est un projet H2020 qui vise à promouvoir et à faciliter les échanges de connaissances, d'expériences et de compétences entre usagers et acteurs impliqués dans la réutilisation des eaux en agriculture. Cette Fiche-Info 4.2 est à destination d'ingénieurs des process de l'eau, elle décrit différents capteurs et autres matériels innovants dédiés au suivi de la qualité des eaux traitées.

Pour la mesure des pathogènes, on utilisera la cytométrie en flux. Pour le carbone organique dissous, on utilisera un capteur de fluorescence UV à LED. Enfin, la technologie à venir est présentée.

INTRODUCTION

1. Cytométrie en flux

La majorité des bactéries d'origine hydrique sont non cultivables et ne forment pas de colonies sur les milieux de culture microbiologique standard disponibles. Par conséquent, ces bactéries ne sont pas détectées par les méthodes de détection basées sur la culture. Parmi les méthodes indépendantes de la culture, la cytométrie en flux est prédominante en raison de sa rapidité et de la reproductibilité des résultats avec différents types d'eau. La détermination des concentrations bactériennes peut être effectuée en 15 minutes et est possible en ligne. Outre la quantification pure, la technologie permet de différencier les bactéries intactes (bactéries vivantes) des bactéries dont la membrane est endommagée (bactéries mortes/endommagées).

2. Capteur à Led UV

La surveillance continue en ligne des matières organiques dissoutes (MOD) est urgente pour le futur contrôle intelligent et rentable lors du traitement de l'eau. D'autre part, la surveillance fréquente du carbone organique dissous (COD) et des sous-produits de désinfection toxiques (SPD) est relativement coûteuse et longue. C'est pourquoi de nombreuses agences soulignent la nécessité d'une surveillance de substitution du COD et d'une estimation du potentiel de formation des SPD. Il est donc nécessaire de développer un type de capteur bon marché, petit, moins consommateur d'énergie mais sensible, qui peut fournir des signaux de retour en temps réel pour l'optimisation automatique des paramètres de fonctionnement et l'estimation de la formation de SPD lors du traitement de l'eau. Les mesures spectrales, y compris les signaux d'absorbance UV et les signaux de fluorescence associés au gros de la MOD, offrent des solutions particulièrement prometteuses pour la surveillance fréquente en ligne.

3. Innovation future

Malgré tous les efforts déployés pour mettre au point des systèmes de surveillance en temps réel, on manque encore de dispositifs robustes, continus, précis et vérifiables offrant un potentiel de mise en œuvre à grande échelle. Leur application à grande échelle a été limitée en raison de l'impossibilité d'obtenir de manière fiable des données précises et rentables sur la qualité des eaux. D'autre part, la majorité des systèmes de surveillance en ligne développés sont des adaptations directes de méthodes d'analyse traditionnelles en laboratoire qui n'ont pas été conçues à l'origine pour des applications sur le terrain. En outre, ils doivent fonctionner dans des environnements extrêmes et variables tout en obtenant des résultats précis et reproductibles. Par conséquent, ces méthodes nécessitent un étalonnage et une maintenance fréquents et consomment souvent de grandes quantités de réactifs chimiques. De plus, les analyseurs souffrent souvent de réponses croisées dues aux variations de matrice entre les étalons et les échantillons analysés, car les conditions de mesure ne sont pas contrôlées. La maintenance des équipements à distance entraîne également des coûts économiques et logistiques importants en raison de la difficulté à détecter des problèmes tels que l'encrassement des capteurs.

1. CYTOMETRIE EN FLUX

1.1. Technologie

L'intégrité membranaire d'une cellule est un critère bien accepté pour caractériser les cellules viables (actives ou inactives) et les distinguer des cellules endommagées et dont la membrane est altérée. Cette information est d'une importance majeure dans l'étude de la fonction des assemblages microbiens dans les milieux naturels, afin d'attribuer les activités de masse mesurées par diverses méthodes aux cellules très actives qui sont effectivement responsables des observations. Le principe de cette approche est d'utiliser simultanément une sonde perméable (SYBR Green ; Molecular Probes) et une sonde imperméable (iodure de propidium) et de tirer parti du transfert d'énergie qui se produit entre elles lorsque les deux sondes colorent les acides nucléiques. Une extinction complète de la fluorescence de la sonde perméable par la sonde imperméable indiquera les cellules dont la membrane est altérée, une extinction partielle indiquera les cellules dont la membrane est légèrement endommagée, et une absence d'extinction caractérisera les cellules à membrane intacte identifiées comme viables.

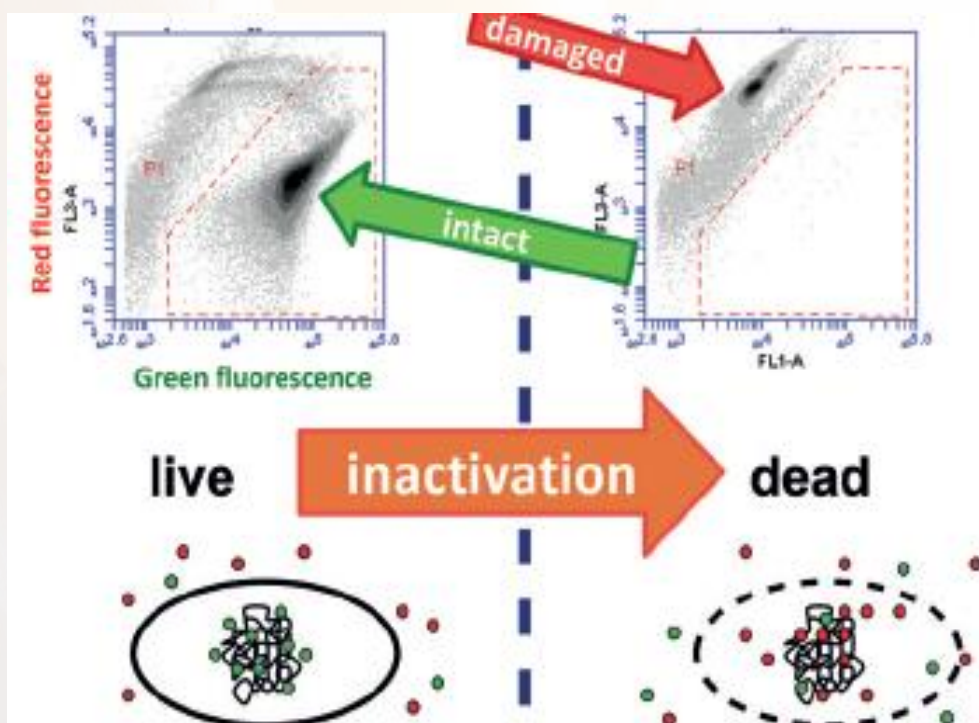


Figure 1: Exemple de diagramme de densité par cytométrie en flux d'une suspension bactérienne avec des cellules vivantes / à membrane intacte (dans la zone en pointillés rouges), resp. avec des cellules mortes / à membrane endommagée (en dehors de la zone en pointillés) après coloration avec deux teintures

1.2. Application pour le traitement de l'eau

Comme pour les autres types d'eau, la cytométrie en flux permet une détermination rapide et fiable du nombre de cellules bactériennes pour la surveillance des processus de traitement des eaux. La détection n'étant pas basée sur la culture des bactéries, toute la population bactérienne présente dans l'eau est mesurée indépendamment de ses conditions de croissance. Alors que les bactéries traditionnelles indicatrices d'hygiène telles que les coliformes, les entérocoques intestinaux ou *Clostridium perfringens* ne sont généralement pas détectables après la filtration sur membrane et que le nombre total de colonies n'est disponible qu'après 2-3 jours, la cytométrie en flux offre une base de données solide pour l'évaluation microbiologique de l'efficacité des différentes étapes du traitement de l'eau. La méthode est compatible avec le "Système d'analyse des risques et de maîtrise des points critiques" (Hazard analysis and critical control points: HACCP), car la détection rapide des changements microbiologiques constitue une bonne base pour les décisions de contrôle des processus.

2. CAPTEUR DE FLUORESCENCE UV A LED

2.1. Technologie

Le capteur LED, qui mesure simultanément l'absorbance UV280, la fluorescence protéique et humique, permet de contrôler les chromophores et les fluorophores avec une bonne sensibilité et précision. La chromatographie liquide avec détecteur de carbone organique combinée à une analyse de corrélation synchrone en 2D a permis de montrer comment les éléments de la MOD de grand poids moléculaire se transforment en petites fractions en fonction de la diminution de la fluorescence de type humique. La chromatographie d'exclusion de taille à haute performance avec absorbance multi-UV et des balayages de fluorescence multi-émissions sont appliqués pour caractériser les échantillons sur le plan spectral.

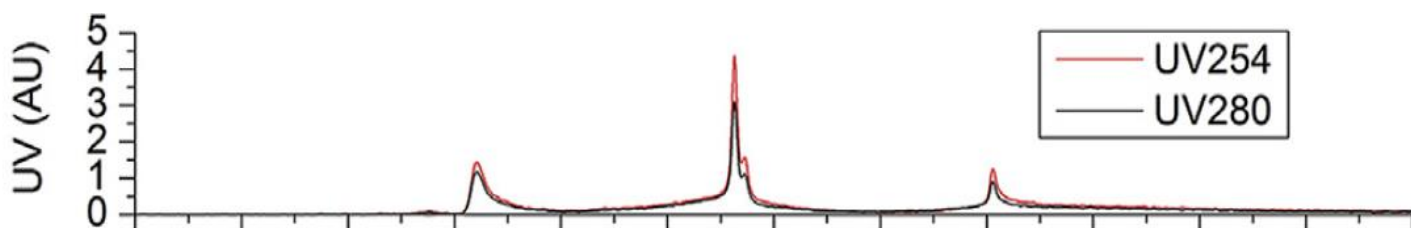


Figure 2: Image d'un spectrophotomètre et d'un diagramme montrant les pics mesurés aux UV254 et UV280

2.2. Application pour le traitement de l'eau

La chloration est la pratique de désinfection la plus utilisée lors du traitement de l'eau, car elle est efficace contre la plupart des agents pathogènes et offre une capacité de désinfection résiduelle. Toutefois, des sous-produits de désinfection (SPD) toxiques se forment inévitablement en raison des réactions entre le chlore et la matière organique naturelle (MON), ce qui a causé de sérieux problèmes pour la santé publique. De nombreuses études suggèrent que les SPD sont cytotoxiques et génotoxiques, et l'exposition chronique aux SPD est associée au cancer de la vessie et du colon chez les humains. Pouvoir détecter ces produits grâce à un capteur de fluorescence UV à LED, pourrait réduire la concentration de ces produits lors du traitement.

3. INNOVATION A VENIR

3.1. Technologie

Pour le cas particulier de la détection des agents pathogènes dans l'eau, il existe une perspective prometteuse pour les capteurs photoniques qui améliorent la détection biologique en tirant parti de la propriété de fluorescence naturelle de certaines bactéries, comme *Escherichia coli*. Le capteur de pathogènes proposé par AIMEN vise à détecter la fluorescence naturelle des bactéries dans un échantillon d'eau réel par des mesures in situ. Une étude approfondie avec de véritables échantillons d'eau fera la différence avec l'état des connaissances actuelles dans ce domaine. Ce capteur ne donnera pas une quantification précise d'*E. coli*, mais permettra un suivi pour établir une estimation de la présence de l'agent pathogène. Ceci doit être considéré comme un système d'alerte précoce, qui suppose la nécessité d'analyses supplémentaires en laboratoire pour confirmer la présence et l'UFC des agents pathogènes dans l'eau. Ce système n'est pas non plus spécifique, mais il ne nécessite aucun traitement de l'eau, aucun réactif, aucune fonctionnalité ni aucun prétraitement des échantillons, ce qui le rend moins cher et facile à utiliser.

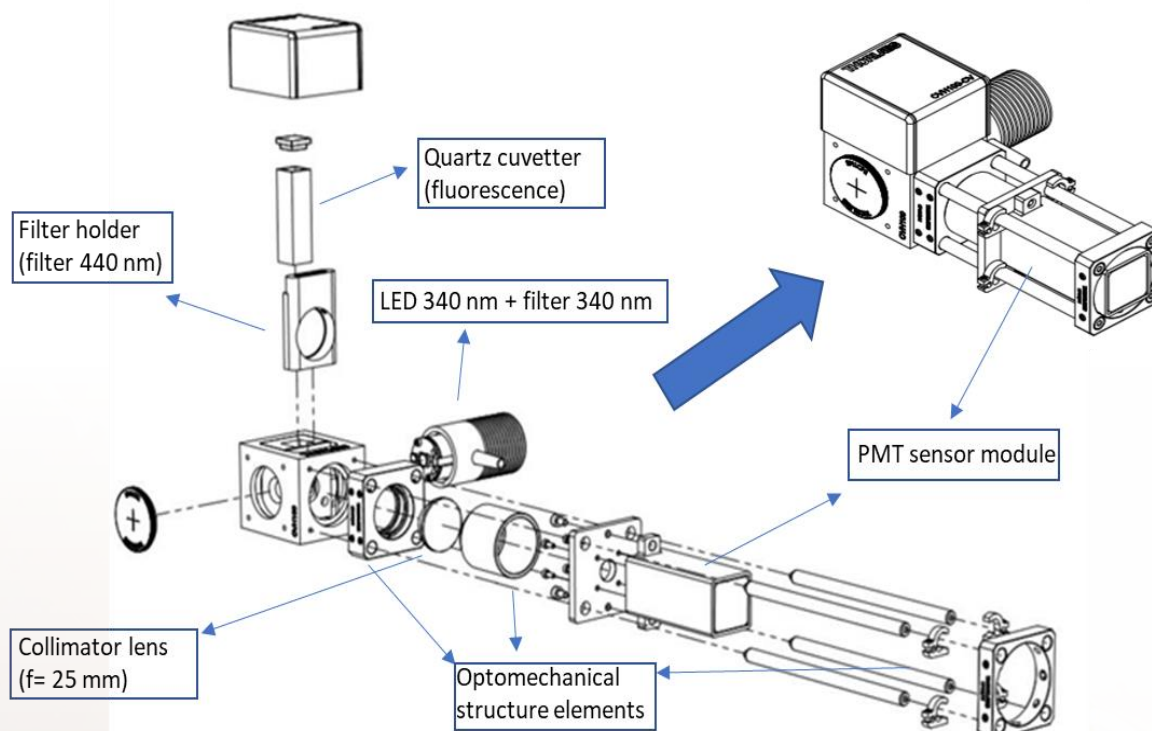


Figure 3: Configuration du capteur PMT proposée par l'AIMEN pour les mesures de fluorescence d'*E. Coli*

3.2. Application pour le traitement de l'eau

Certains capteurs ont été développés pour mesurer directement la fluorescence naturelle de ces bactéries en conditions réelles sans traitement des échantillons et en utilisant des systèmes de circulation d'eau pour reproduire une solution de surveillance de l'eau en ligne. Toutefois, aucun de ces capteurs n'a été utilisé dans des sites réels ou pour surveiller des échantillons d'eau réels provenant de stations d'épuration. Cependant, avec le capteur de pathogènes proposé par AIMEN, ce capteur serait un dispositif de surveillance en ligne en temps réel, mesurant en continu l'émission de fluorescence dans un by-pass de la station d'épuration. Si le capteur fonctionne correctement, il constituera une percée dans la surveillance d'échantillons d'eau réels en dehors des conditions de laboratoire, sans traitement des échantillons, sans ajout de réactifs ou sans dispositifs coûteux.

4. Références / Lectures complémentaires

- Dartnell, L. (2013). Fluorescence characterization of clinically-important bacteria. PLoS one vol. 8,9.
- Edberg, S. (2000). Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection. J. Appl. Microbiol., 88, 106S-116S.
- Hesari, N. (2016). A biosensor platform for rapid detection of E. coli in drinking water. Enzyme and Microbial Technology vol. 83, Pages 22-28.
- Hongying, Z. (2012). Quantum dot enabled detection of Escherichia coli using a cell-phone. The Analyst vol. 137.
- Kilungo, A. (2013). Continuous Real-time Detection of Microbial Contamination in Water using Intrinsic Fluorescence. doi: 10.4172/2155-6210.S12-002. J Biosens Bioelectron S12:002.
- Li, W. T., Jin, J., Li, Q., Wu, C. F., Lu, H., Zhou, Q., & Li, A. M. (2016). Developing LED UV fluorescence sensors for online monitoring DOM and predicting DBPs formation potential during water treatment. Water research, 93, 1-9.
- Simões, J. (2018). Continuous and Real-Time Detection of Drinking-Water Pathogens with a Low-Cost Fluorescent Optofluidic Sensor. Sensors (Basel, Switzerland) vol. 18,7 2210.
- Wildeboer, D. (2010). Rapid detection of Escherichia coli in water using a hand-held fluorescence detector. Water Research vol. 44, Pages 2621-2628.
- Zulkifli, N. (2018). Detection of contaminants in water supply State-of-the-art monitoring technologies and their applications. Sensors and Actuators B 255 (2018), 2657–2689.



CONTACTS:

Coordinateur

Rafael Casielles (BIOAZUL SL)
Avenida Manuel Agustin Heredia nº18 1º4 Málaga (ESPAGNE)
Mail | info@suwanu-europe.eu Site internet | www.suwanu-europe.eu

CONTACTS:

Responsable de la fiche info

Andres Acosta (TTZ Bremerhaven)
Am Ludeneich 12 27572 Bremerhaven (GERMANY)
Site internet | <https://www.ttz-bremerhaven.de/de/>



THIS PROJECT HAS RECEIVED FUNDING FROM
THE EUROPEAN UNION' HORIZON 2020 RESEARCH
AND INNOVATION PROGRAMME
UNDER GRANT AGREEMENT N. 818088

