

Déploiement de l'observatoire MeSeine-MatOS

Antoine Raoult¹, Armand Poirier¹, Sabrina Guerin², Vincent Rocher², Rania Krimou²,
Jeremy Mougin², Angélique Goffin¹, Gilles Varrault¹

¹ Université Paris-Est Créteil/LEESU

² SIAAP/DI

* varrault@u-pec.fr

Résumé

Ce rapport présente la mise en place de l'observatoire de matière organique en Seine (MeSeine-MatOS), un réseau de six sondes Fluocopée® déployées entre l'amont et l'aval de l'agglomération parisienne pour suivre in situ et à haute fréquence (4 mesures/h) la matière organique dissoute (MOD) dans la Seine, la Marne et l'Oise. Ces sondes permettent de mesurer 26 couples $\lambda_{ex/em}$, spécialement choisis pour caractériser quantité et qualité de la MOD dans les milieux aquatiques. L'observatoire est adossé à l'observatoire MeSeine du SIAAP et a pour objectif d'étudier la variabilité spatio-temporelle de la MOD, ses sources, ses flux, l'impact des rejets urbains (STEU, déversoirs d'orage), et d'améliorer les connaissances sur les processus biogéochimiques en rivière.

Les sondes sont réparties sur trois stations de potabilisation du SEDIF et trois stations multiparamétriques de l'observatoire MeSeine, choisies pour encadrer les principaux exutoires du réseau d'assainissement. Le rapport décrit en détail chaque site, son instrumentation, ainsi que les spécificités locales influençant les mesures.

La méthodologie développée assure la fiabilité des données via une qualification préalable des sondes en laboratoire, un réglage fin des séquences de mesure, un nettoyage hebdomadaire et une calibration mensuelle sur site. Les premiers résultats montrent l'intérêt du dispositif pour détecter les dynamiques rapides de la MOD (épisodes pluvieux notamment) et quantifier avec fiabilité les flux de carbone organique dissous.

En 2026, toutes les stations de l'observatoire MeSeine vont être équipées de la version industrielle de la sonde Fluocopée®. En outre, une nouvelle station va être créée à Poses, ce qui permettra de suivre la dynamique de la MOD de l'amont de l'agglomération parisienne jusqu'à l'estuaire de la Seine.

Points clefs

- ✓ *L'observatoire MeSeine-MatOS est constitué de six sondes Fluocopée® pour suivre in situ et à haute fréquence la matière organique dissoute dans la Seine, la Marne et l'Oise.*
- ✓ *Une méthodologie stricte (qualification, réglages, entretien hebdomadaire, calibrations mensuelles sur site) a été mise en place pour garantir la qualité des données acquises.*
- ✓ *L'objectif est d'évaluer finement l'impact des événements transitoires et d'apporter une meilleure compréhension de la dynamique de la MOD en Seine et de sa biogéochimie.*

Abstract

This report presents the deployment of the MeSeine-MatOS observatory, a monitoring network composed of six Fluocopée® probes installed along the Seine, Marne, and Oise rivers, from the upstream to the downstream sections of the Paris conurbation. The system enables *in situ*, high-frequency monitoring (4 measurements per hour) of dissolved organic matter (DOM). The probes record fluorescence at 26 carefully selected excitation–emission wavelength pairs, allowing detailed characterization of both the concentration and the qualitative properties of DOM in aquatic environments. Integrated within the broader MeSeine observatory operated by SIAAP, MeSeine-MatOS aims to investigate the spatio-temporal variability of DOM, identify its sources and fluxes, assess the influence of urban discharges (wastewater treatment plants and storm overflows), and improve understanding of the biogeochemical processes governing river systems.

The six probes are distributed across three SEDIF drinking water production facilities and three MeSeine multiparameter stations, strategically positioned to bracket the principal outlets of the Parisian wastewater network. The report provides a detailed description of each monitoring site, associated instrumentation, and local hydro-environmental specificities that may affect measurements.

A rigorous methodological framework has been implemented to ensure data quality, including laboratory qualification of each probe, precise configuration of measurement sequences, weekly maintenance operations, and monthly on-site calibration. Early results demonstrate the relevance of the observatory for detecting rapid DOM dynamics—particularly during rainfall events—and for producing robust estimates of dissolved organic carbon fluxes.

In 2026, all MeSeine real-time monitoring stations will be equipped with the industrial version of the Fluocopée® probe. Furthermore, a new station will be established at Poses, enabling continuous observation of DOM dynamics from the upstream of the Parisian metropolitan area to the Seine estuary.

Key points

- ✓ The MeSeine-MatOS observatory comprises six Fluocopée® probes enabling high-frequency, *in situ* monitoring of DOM in the Seine, Marne, and Oise rivers.
- ✓ A stringent methodological protocol (laboratory qualification, weekly maintenance, and monthly field calibration) ensures the reliability and consistency of the collected data.
- ✓ The observatory aims to provide a refined assessment of transient pollution events and to advance the understanding of DOM dynamics and biogeochemistry in the Seine basin.

Introduction

Le potentiel de la spectrométrie de fluorescence a déjà été démontré pour caractériser la matière organique dissoute (MOD) dans des matrices très variées. Elle trouve aussi bien sa place au sein des filières d'assainissement (Carstea et al., 2016 ; Goffin et al., 2018 ; Rodriguez-Vidal et al., 2020) que pour des suivis environnementaux (Barker et al., 2009 ; Coble, 2014 ; Huguet et al., 2009 ; Lu et al., 2019). Depuis quelques années, quelques sondes ont été développées pour intégrer des mesures de fluorescence en continu aux suivis environnementaux *in situ* (Bieroza et al., 2023).

C'est dans ce contexte que s'inscrit le développement de la sonde Fluocopée® (Goffin et al., 2024) qui a fait l'objet d'un brevet conjoint UPEC/SIAAP (EP4040139A1 ; FR3119678A1). Les premiers déploiements, opérés entre 2021 et 2024 avec des prototypes dans une version antérieure (version 2), ont permis de vérifier que son fonctionnement était compatible avec une utilisation en station de traitement des eaux usées (STEU) et dans les milieux aquatiques continentaux (Raoult, 2025), notamment en termes de sensibilité. La fabrication, à partir de 2023, d'une série de nouveaux prototypes (version 3) de la sonde Fluocopée® a ouvert la voie à une exploitation de plus grande ampleur grâce notamment à l'amélioration de leur robustesse et de leur fiabilité.

En 2024, le déploiement progressif de sondes Fluocopée (v3) sur six sites du bassin de la Seine de l'amont à l'aval de l'agglomération parisienne à l'observatoire de matière organique en Seine a permis la création de l'observatoire de la matière organique en Seine (MeSeine-MatOS) par le LEESU et le SIAAP. Cet observatoire est adossé à l'observatoire MeSeine opéré par le SIAAP. Il est désormais labellisé en tant qu'observatoire par l'OSU Efluve (UPEC/CNRS).

Les objectifs de cet observatoire sont multiples. Il va permettre notamment d'étudier la variabilité spatio-temporelle des quantité et qualité de la MOD dans le bassin de la Seine, ses sources et flux venant de l'amont de l'agglomération et ses flux vers l'estuaire, l'impact des rejets urbains dans une rivière sous forte pression anthropique, les processus biogéochimiques en Seine et ainsi d'améliorer leur modélisation. La possibilité de réaliser des mesures à haute fréquence (4 mesures par heure) sera particulièrement intéressante pour mieux suivre les événements transitoires (dysfonctionnement en STEU, rejets de temps de pluie...). Des modèles prédictifs des concentrations en carbone organique dissous (COD), mais aussi de ses fractions biodégradables (CODB) sur la base des mesures réalisées par les sondes Fluocopée ont été établis au LEESU ces dernières années (Goffin, 2017 ; Raoult, 2025). Les mesures réalisées par la sonde Fluocopée nous permettent donc d'estimer *in situ* et à haute fréquence le COD et le CODB en rivière dans le bassin de la Seine.

Les problématiques scientifiques concernant l'amont de l'agglomération parisienne seront traitées dans le cadre des programmes de recherche PIREN-Seine et MeSeine Innovation. Les problématiques scientifiques concernant l'agglomération parisienne et la partie aval seront traitées dans le cadre du programme de recherche MeSeine Innovation.

Ce rapport décrit l'observatoire MeSeine-MatOS dans sa forme actuelle ainsi que la méthodologie employée pour garantir la fiabilité des sondes et la robustesse des résultats acquis. Ce travail a été mené dans le cadre du travail de thèse d'Antoine Raoult. Une première partie décrit l'implantation des sites choisis pour être équipés de sondes Fluocopée®. Elle fait le lien entre leur localisation et les principaux exutoires du réseau d'assainissement parisien. L'organisation de ce réseau de capteurs s'appuie sur des infrastructures de mesure déjà existantes. De cette manière, le traitement et l'interprétation des chroniques de données pourront être complétés par les suivis déjà réalisés sur ces sites. La seconde partie présente la méthodologie mise en place pour garantir la qualité des données acquises par les sondes Fluocopée®.

1. L'observatoire MeSeine-MatOS

1.1. Présentation générale de l'observatoire

La Seine est un fleuve sous forte influence urbaine, puisque son bassin versant accueille près de 30 % de la population française. Plus de 10 millions d'habitants se concentrent dans la seule région Île-de-France (Flipo, Labadie & Lestel, 2021). Il a déjà été montré que des variations dans le régime de fonctionnement du réseau d'assainissement parisien, notamment par temps de pluie, avaient des répercussions directes sur la quantité et la qualité de la MOD détectée en Seine et en Marne (Matar, 2012 ; Goffin, 2017). Pour espérer identifier et suivre ces pressions *in situ*, il faut disposer de nouveaux outils capables d'apporter des éléments de caractérisation de la MOD avec une fréquence d'analyse élevée de l'ordre d'une mesure par heure.

La sonde Fluocopée® répond à ce besoin puisqu'elle permet de suivre à haute fréquence (une mesure toutes les 15 minutes) la fluorescence pour 26 couples $\lambda_{ex/em}$ choisis spécifiquement pour caractériser la MOD dans les matrices environnementales. Cette sonde permet donc de suivre à haute fréquence et *in situ* les évolutions de la MOD, tant en termes de quantité que de qualité.

L'installation de cet instrument en aval des principaux ouvrages qui composent le système d'assainissement parisien (STEU et DO) fournira donc de précieuses informations quant à son impact sur l'état de la Seine et de la Marne, en fonction de son régime de fonctionnement.

Pour ce faire, un maillage fin de capteurs le long de la Seine, de la Marne et de l'Oise doit être mis en place. C'est dans cette optique que six stations de mesure ont été identifiées pour être équipées d'exemplaires de la sonde Fluocopée® et ainsi former un réseau de capteurs. Ce réseau de capteurs constitue l'observatoire de la Matière Organique en Seine (MeSeine-MatOS) (Fig. 1). Ces stations ont été choisies afin d'encadrer le mieux possible les STEU opérées par le SIAAP, dont les exutoires se trouvent en Seine ou en Marne. Les mesures de fluorescence obtenues avec les sondes positionnées en aval de ces ouvrages pourront être comparées à celles en amont pour évaluer les pressions urbaines sur l'environnement aquatique.

Les données acquises sur des sites relativement peu impactés par le système d'assainissement parisien, sur la Seine, la Marne et l'Oise, pourront aussi être interprétées en regard des dynamiques rencontrées plus en amont de leur bassin versant. Il s'agit de zones où la densité de population est moins élevée que dans l'agglomération parisienne. Les apports anthropiques en MOD y sont donc plus faibles et, par conséquent, les apports naturels jouent un rôle plus important.

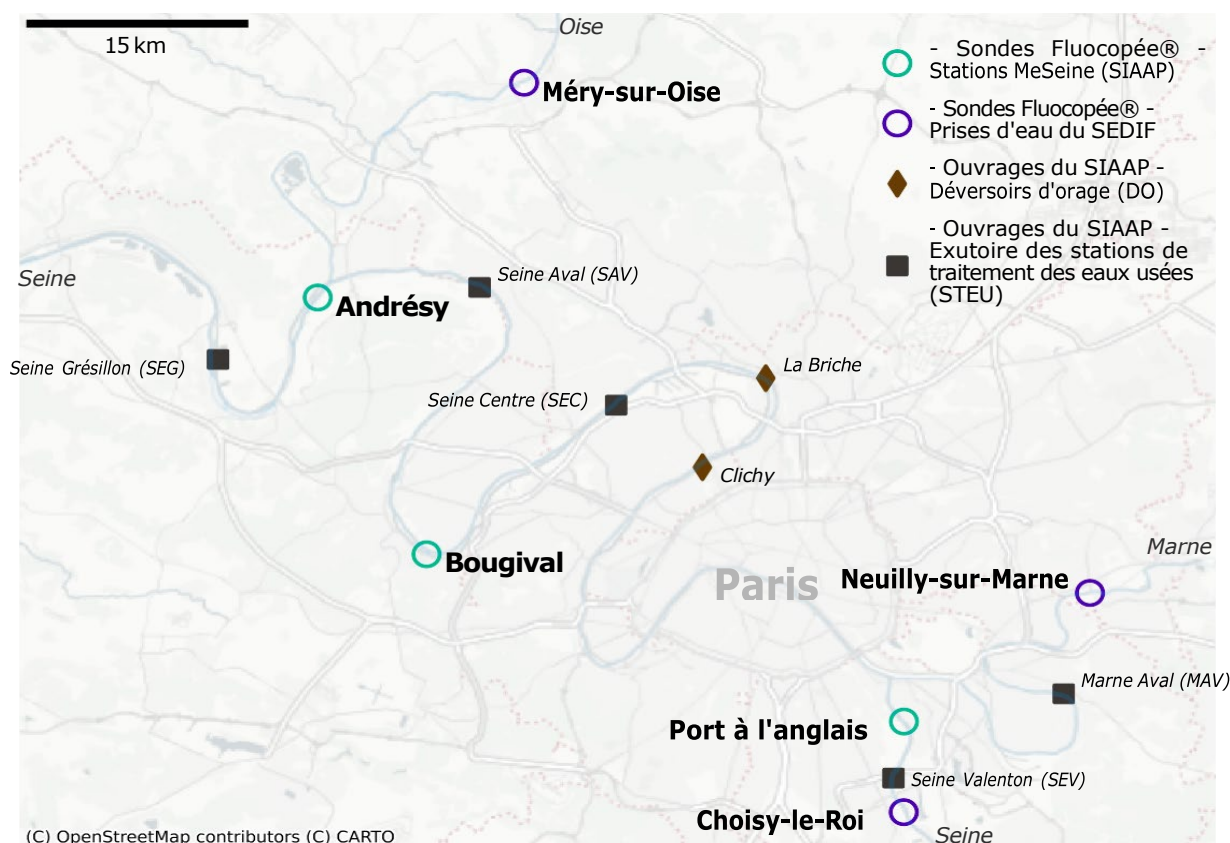


Figure 1. Positionnement des sondes Fluocopée® constituant le réseau MeSeine - MatOS par rapport à l'agglomération parisienne et aux principaux ouvrages d'assainissement gérés par le SIAAP

Certaines des sondes Fluocopée® sont installées sur des stations de mesure multiparamétriques du réseau MeSeine (voir Tableau 1). Créé en 1990, cet observatoire, géré par le SIAAP, a pour but de suivre en continu l'évolution de la qualité de la Seine et de la Marne en aval de leurs principaux ouvrages d'assainissement. Son périmètre d'action couvre aujourd'hui un linéaire de Seine long de 125 km (13 km pour la Marne) entre Choisy-le-Roi et Méricourt. Grâce à l'organisation de campagnes de prélèvements

hebdomadaires, il permet également de suivre l'évolution d'une quinzaine de paramètres par analyses de laboratoire, sur douze sites différents.

Trois autres sondes sont, quant à elles, installées sur les prises d'eau des stations de potabilisation du Syndicat des Eaux d'Île de France (SEDIF) de Choisy-le-Roi, Neuilly-sur-Marne et Méry-sur-Oise. L'eau de la Seine, de la Marne et de l'Oise y est pompée comme ressource pour produire de l'eau potable. Ces prises d'eau sont localisées en amont des principaux rejets urbains de l'agglomération parisienne afin de bénéficier de la meilleure qualité d'eau brute disponible. Le SEDIF et Veolia – Franciliane, l'industriel qui opère ces usines, caractérisent au mieux la qualité physico-chimique de leur ressource afin d'adapter le traitement de potabilisation et de garantir ainsi une eau produite de la meilleure qualité possible. Ces prises d'eau sont donc déjà équipées de nombreux appareils de mesure en continu de la qualité de l'eau.

Tableau 1. Localisation des sondes Fluocopée® constituant l'observatoire MeSeine-MatOS

Site	Cours d'eau	Gestionnaire du site	Coordonnées GPS
Choisy-le-Roi	Seine	SEDIF	48° 45' 32.3"N 2° 25' 08.2"E
Neuilly-sur-Marne	Marne	SEDIF	48° 51' 11.4"N 2° 31' 54.4"E
Méry-sur-Oise	Oise	SEDIF	49° 04' 18.2"N 2° 11' 19.9"E
Port à l'Anglais (Alfortville)	Seine	SIAAP	48° 47' 52.6"N 2° 25' 08.6"E
Bougival	Seine	SIAAP	48° 52' 11.2"N 2° 07' 47.2"E
Andrésy	Seine	SIAAP	48° 58' 47.4"N 2° 03' 49.8"E

1.2. Description précise des sites d'implantation de l'observatoire

Six sites de mesure ont donc été choisis pour accueillir des exemplaires de la sonde Fluocopée® et faire partie de l'observatoire MeSeine-MatOS. Ils sont répartis sur la Seine, la Marne et l'Oise, entre Choisy-le-Roi, à l'amont de la STEU Seine-Valenton (Valenton, France) (SEV), et Andrésy, à l'aval de la STEU SAV et de la confluence de la Seine avec l'Oise. Certaines de ces sondes sont installées sur des stations de mesure en continu multiparamétriques du SIAAP, tandis que d'autres équipent les prises d'eau d'usines de potabilisation du SEDIF.

Au-delà de ces caractéristiques générales, chacun de ces sites présente des particularités qui lui sont propres. Tous ne sont, par exemple, pas équipés des mêmes appareils d'analyse en continu. Leur localisation précise sur le réseau hydrographique peut aussi être importante pour interpréter les évolutions des signaux de fluorescence mesurés avec la sonde Fluocopée®. Les paragraphes suivants montrent plus en détail la localisation de ces sites et décrivent pour chacun de ces sites les autres mesures qui y sont réalisées.

1.2.1. Choisy-le-Roi

Une des sondes Fluocopée® est installée au sein de l'usine de potabilisation Edmond Pépin, située à Choisy-le-Roi. Elle y est montée dans une cellule de mesure (Fig. 2 et 3) positionnée juste en aval des grilles et tamis de l'unité nourricière. Ces dispositifs permettent de retirer les plus gros objets et particules présents dans la Seine (eau débourbée). Le montage expérimental est donc alimenté avec la même eau que celle qui entre dans la filière de traitement de l'usine.

Afin de caractériser au mieux l'eau entrant dans l'usine de traitement, de nombreux analyseurs sont déjà utilisés pour suivre en continu la qualité de la ressource, avec une fréquence d'une mesure toutes les 2 min 30. À Choisy-le-Roi, ils sont alimentés via la même conduite de dérivation que la cellule de mesure de la sonde Fluocopée®. Des équipes sont en charge de maintenir en bon état de fonctionnement tous ces appareils de mesure. Le Tableau 2 rassemble tous les paramètres suivis qui ont été fournis par Franciliane.

Tableau 2. Paramètres suivis par le SEDIF et son délégataire (Veolia - Franciliane) à l'entrée de l'usine de potabilisation Edmond Pépin à Choisy-le-Roi

Paramètre	Unité	Référence de l'appareil
Turbidité	FNU	Aquascat (Sigrist)
Température	°C	Rosemount
Matières organiques (MOUV)	milli-unité d'absorbance ($\times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$)	UVAS Plus sc (Hach Lange)
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Memosens CLS21E (Endress+Hauser)
pH	unité pH	Memosens CPS11E (Endress+Hauser)
MES	mg/L	Mesures ponctuelles de paillasse
COT	mg/L	7010 TOC (Metrohm)
O ₂ dissous	mg/L	Memosens COS22E (Endress+Hauser)
NH ₄ ⁺	mg/L	Amtax sc (Hach Lange)
Orthophosphates	mg/L	Mesures ponctuelles de paillasse
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	mg/L	HC Meter CX6032 (Metrohm)

1.2.2. Neuilly-sur-Marne

L'usine SEDIF de Neuilly-sur-Marne accueille également une sonde Fluocopée® bénéficiant de conditions d'exploitation similaires. Elle est, elle aussi, positionnée dans une cellule de mesure alimentée par l'eau débourbée issue des unités nourricières de l'usine. À l'image de l'usine de Choisy-le-Roi, de nombreux analyseurs opérés suivent en continu la qualité de la Marne. À l'exception des MES ainsi que des concentrations en orthophosphates, il s'agit des mêmes paramètres que ceux suivis à l'entrée de l'usine de Choisy-le-Roi (Tab. 3).

Tableau 3. Paramètres suivis par le SEDIF et son délégataire (Veolia - Franciliane) à l'entrée de l'usine de potabilisation de Neuilly-sur-Marne

Paramètre	Unité	Référence de l'appareil
Turbidité	FNU	Aquascat 2HT (Sigrist)
Température	°C	Pt100 sonde LDO (Hach Lange)
Matières organiques (MOUV)	milli-unité d'absorbance ($\times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$)	UVAS Plus sc (Hach Lange)
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Tetracon 700 IQ (WTW)
pH	unité pH	Memosens CPS11E (Endress+Hauser)
COT	mg/L	TOC-4200 FA E (Shimadzu)
O ₂ dissous	mg/L	Memosens COS22E (Endress+Hauser)
NH ₄ ⁺	mg/L	Amtax sc (Hach Lange)
HAP	mg/L	HC Meter CX6032 (Metrohm)

1.2.3. Méry-sur-Oise

L'usine de Méry-sur-Oise est la troisième usine principale du SEDIF. Elle est également équipée d'une sonde Fluocopée® montée dans une cellule de mesure (Fig. 2 et 3). Une des particularités de cette usine est qu'elle ne pompe pas directement l'eau de l'Oise, mais plutôt dans un bassin réservoir d'une capacité de 370 000 m³, correspondant à plus de deux jours de production moyenne de l'usine : le bassin de stockage Ségur. Ce bassin est lui-même alimenté à partir d'un pompage de l'eau de l'Oise. Cette disposition permet de s'affranchir de la rivière en cas d'épisode de contamination de la ressource, en stoppant son pompage et en se reposant temporairement sur la capacité du bassin de stockage.

Du fait de cette particularité, des analyseurs sont installés à la fois sur les prises d'eau de l'usine dans le bassin Ségur et sur le pompage de l'Oise. La qualité physico-chimique de ces deux eaux est forcément liée l'une à l'autre, mais des différences peuvent apparaître, notamment en période de changement brusque de la qualité de l'Oise. D'autres phénomènes, tels que la chute des feuilles à l'automne, peuvent influencer l'état du bassin Ségur différemment de celui de l'Oise.

L'objectif de l'observatoire MeSeine-MatOS est d'abord d'étudier les dynamiques biogéochimiques des principaux cours d'eau franciliens à l'échelle régionale. C'est donc la qualité de l'Oise qui est visée par la sonde Fluocopée®, et non celle du bassin Ségur. Comme sur les usines de Choisy et de Neuilly, elle a donc

été installée dans une cellule de mesure alimentée par l'eau débouée provenant de la prise d'eau dans l'Oise. De ce fait, le montage expérimental a été positionné dans le local analyseurs du bâtiment Ségur de l'usine de Méry-sur-Oise. C'est dans ce local que l'eau pompée dans l'Oise est analysée par les appareils de mesure présentés dans le tableau 4. Toutes les mêmes analyses ne sont cependant pas effectuées sur l'Oise et sur l'eau pompée depuis le lac réservoir (eau stockée). Le tableau 4 précise donc aussi sur quel type d'eau est suivi chacun des paramètres physico-chimiques.

Tableau 4 – Paramètres suivis par le SEDIF et son délégataire (Veolia - Franciliane) à l'usine de Méry-sur-Oise sur ses prises d'eau dans l'Oise et le bassin réservoir Ségur

Paramètre	Unité	Mesuré sur l'Oise	Mesuré sur l'eau stockée	Référence de l'appareil
Turbidité	FNU	Oui	Oui	Aquascap (Sigrist)
Température	°C	Oui	Oui	400-400VP (Rosemount)
Matières organiques (MOUV)	milli-unité d'absorbance ($\times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$)	Mesures ponctuelles de paillasse	Mesures ponctuelles de paillasse	-
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Oui	Oui	400-400VP (Rosemount)
pH	unité pH	Oui	Oui	Memosens CPS11E (Endress+Hauser)
MES	mg/L	Non	Mesures ponctuelles de paillasse	Mesures ponctuelles de paillasse
COT	mg/L	Oui	Oui	TOC-4200 FA E (Shimadzu)
O ₂ dissous	mg/L	Oui	Oui	LDO (Hach Lange)
NH ₄ ⁺	mg/L	Oui	Oui	Amtax sc (Hach Lange)
NO ₃ ⁻	mg/L	Oui	Non	
HAP	mg/L	Oui	Oui	FP360SC (Hach Lange)

1.2.4. Port à l'Anglais (Alfortville)

La station multiparamétrique du Port à l'Anglais (PAA) est installée sur un ponton flottant sur la Seine, au niveau de l'écluse du Port à l'Anglais (rive droite), à Alfortville. Elle a été inaugurée en 2024 pour suivre la qualité de la Seine durant les épreuves de triathlon et de natation en eau libre organisées lors des Jeux olympiques et paralympiques de Paris 2024 (JOP de Paris 2024). Elle permet de surveiller l'impact du rejet de la STEU SEV, située quelques kilomètres en amont (Fig. 1). Une station similaire a d'ailleurs aussi été installée à Saint-Maurice pour répondre au même objectif de surveillance sur la Marne. En temps de pluie, le déversoir d'orage (DO) de Fresnes-Choisy déverse des eaux usées non traitées quelques dizaines de mètres en amont du rejet de SEV.

En tant que station multiparamétrique de l'observatoire MeSeine, la station du PAA est équipée de plusieurs outils de mesure permettant de suivre en continu et à haute fréquence l'état de la Seine (Tab. 5), outre des mesures classiques des paramètres physico-chimiques généraux (température, pH, conductivité, turbidité, concentrations en O₂ dissous et en ions ammonium (NH₄⁺)).

La vocation initiale de la station du PAA est d'évaluer la qualité de la Seine à l'amont immédiat de Paris, en vue de la tenue des épreuves de natation organisées dans la Seine lors des JOP de Paris 2024. À ce titre, elle a également été équipée d'appareils permettant de suivre en continu son état bactériologique. Les technologies proposées par BactoSense® et Coliminder ont donc aussi été déployées durant l'été 2024 au PAA.

Tableau 5. Paramètres suivis en continu sur la station multiparamétrique du PAA faisant partie de l'observatoire MeSeine

Paramètre	Unité	Référence de l'appareil
Température	°C	-
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$	condu::lyser™ (S::CAN)
pH	unité pH	-
Turbidité	NTU	i::scan™ (S::CAN)
O ₂ dissous	mg/L	LDO (Hach Lange)
NH ₄ ⁺	mg/L	ammo::lyser™ pro (S::CAN)
MOD	-	i::scan™ (S::CAN)
Bactéries totales	mMFU/100mL	BactoSense® CORE
BIF	mFU	Coliminder

Un exemplaire de la sonde Fluocopée® a été installé au PAA durant l'été 2024 afin de profiter de la mise en place de cette nouvelle station de mesure. Les chroniques de fluorescence acquises à cet endroit bénéficient notamment des suivis bactériologiques qui s'y sont concentrés en vue des JOP de Paris 2024.

Les données obtenues sur cette sonde pourront être comparées directement avec celles acquises dans l'usine de potabilisation Edmond Pépin de Choisy-le-Roi (SEDIF). La comparaison des signaux de fluorescence acquis sur ces deux sondes, distantes de moins de 5 km, permettra d'étudier la MOD apportée par le rejet de la STEU SEV et du DO de Fresnes-Choisy situés entre les deux (Fig. 1).

1.2.5. Bougival

C'est à l'aval de Paris que les effets de son système d'assainissement se font le plus ressentir sur la qualité de la Seine. Dans la première boucle de la Seine à l'aval de Paris, les DO de Clichy et de La Briche peuvent avoir un impact majeur lors d'épisodes pluvieux intenses. D'autres DO de taille plus modeste sont situés dans Paris et en amont de Bougival. La station multiparamétrique est donc idéalement placée pour évaluer l'impact des rejets urbains en temps de pluie (RUTP) de l'agglomération parisienne (Fig. 1). Elle est en effet positionnée en aval des rejets des DO de Clichy et de La Briche, mais également de celui de la STEU Seine-Centre (Colombes, France) (SEC) à Colombes. La mesure à haute fréquence permettra de caractériser finement ces rejets de temps de pluie et notamment leur impact sur les qualité et quantité de MOD en Seine.

Du fait de cette position stratégique par rapport au réseau d'assainissement francilien, des prélèvements ponctuels de l'observatoire MeSeine sont également réalisés à Bougival. Les échantillons sont prélevés de manière hebdomadaire depuis le ponton flottant sur lequel sont installés les appareils de mesure à haute fréquence de la station multiparamétrique. Les données issues de ces analyses pourront donc être utilisées en complément des chroniques de fluorescence.

Les paramètres suivis en continu sur la station multiparamétrique sont les mêmes que ceux mesurés au PAA (Tab. 5). La qualité bactériologique de la Seine a uniquement été suivie en continu grâce au BactoSense®, mais pas avec le Coliminder.

1.2.6. Andrésy

La station multiparamétrique installée à l'extrémité amont de l'écluse du barrage d'Andrésy fait également partie de l'observatoire MeSeine. Elle est positionnée à l'aval de l'exutoire de la STEU SAV, dans le but d'évaluer l'impact de son rejet sur la qualité de la Seine (Fig. 1). En effet, son débit moyen, environ égal à 15 m³/s peut représenter jusqu'à 10 à 20 % de celui de la Seine (mesuré à la station de Paris - Austerlitz) lors de périodes d'étiage. Ses apports en MOD au milieu naturel sont donc conséquents, et les variations transitoires de performances des procédés épuratoires de l'usine peuvent avoir des répercussions directes sur l'état physico-chimique de la Seine. La station multiparamétrique d'Andrésy a été mise en place pour suivre ces effets sur les masses d'eau à l'aval de l'usine. L'analyse des signaux de fluorescence mesurés en continu par la sonde Fluocopée®, installée à Andrésy, permet de suivre les dynamiques de la MOD en lien avec le rejet de SAV.

Les données de fluorescence acquises avec la sonde Fluocopée® de Bougival pourront aider à l'interprétation de celles acquises à Andrésy. Leur comparaison permettra, par exemple, d'isoler les apports de la STEU SAV sur les signaux de fluorescence. Il n'existe en effet pas d'exutoire d'ouvrage majeur du SIAAP sur la Seine entre Bougival et SAV.

Les mesures de fluorescence effectuées à Andrésy pourront elles aussi s'appuyer sur les autres mesures en continu réalisées par les équipes du SIAAP. La station est équipée des mêmes instruments de mesure que celle du PAA, à l'exception des analyses bactériologiques du BactoSense® et du Coliminder (Tab. 5).

1.3. Déploiement des sondes Fluocopée® sur l'observatoire MatOS

Le déploiement préliminaire du premier prototype v3 (v3.1) à Choisy-le-Roi a montré que cette nouvelle version résolvait une grande partie des problèmes de fiabilité rencontrés avec les prototypes v2. Sa première installation, au mois de juillet 2023, a toutefois été écourtée pour résoudre de nouveaux problèmes techniques. En effet, son fonctionnement pendant une période de fortes chaleurs a montré la nécessité d'installer un système d'évacuation thermique pour protéger l'instrument de la surchauffe. D'autres défauts mineurs, d'ordre matériel, électronique et logiciel, ont également été corrigés lors de retours pour maintenance durant la première moitié de l'année 2024.

Toutes les évolutions apportées à la v3.1 lors de ses premiers déploiements ont pu être intégrées aux autres prototypes v3.2 dès leur fabrication. Ils ont été livrés entre mi-avril et fin mai 2024. Dès lors, ces nouveaux exemplaires ont pu être déployés pour équiper les autres sites de l'observatoire MeSeine-MatOS.

2. Installation, réglage et maintenance des sondes Fluocopée® dans le milieu récepteur

Avec d'être implémentée sur le terrain, chaque sonde Fluocopée® subit une procédure de qualification. Ces expérimentations de laboratoire ont pour objectif principal de vérifier que les sondes sont fonctionnelles et satisfont les spécifications, notamment en termes de sensibilité, d'étalonnage et de répétabilité des mesures. À l'issue de ces tests de qualification, les sondes sont prêtes à être installées. Les aspects pratiques liés au déploiement réel des sondes sur le terrain sont abordés ci-dessous. Des détails supplémentaires pourront être trouvés dans la thèse d'Antoine Raoult (Raoult, 2025).

2.1. Montages expérimentaux utilisés pour l'installation des sondes

Le montage expérimental pour le déploiement des sondes dépend du site. En effet, les conditions sont différentes entre les sites correspondant aux stations de potabilisation du SEDIF et ceux correspondant aux stations multiparamétriques du réseau MeSeine.

2.1.1. Montages expérimentaux pour les sondes installés en usine de potabilisation

Au sein des usines de potabilisation du SEDIF, les sondes Fluocopée® sont placées dans un montage expérimental qui leur est dédié et qui sert de cellule de mesure (Fig. 2 et 3). Cette installation est inspirée de celle déjà mise en place par les équipes du SIAAP au sein de la STEU SAV. Il s'agit d'une cellule de mesure dont le volume, d'environ 23 L, est renouvelé en permanence par de l'eau débouée provenant de l'unité nourricière de l'usine. Elle est alimentée par le fond et le débit sortant est évacué par surverse. De cette manière, la cellule de mesure peut être assimilée à un réacteur piston. La sonde Fluocopée®, qui trempe à quelques centimètres de la surface de l'eau, suit donc progressivement le flux d'eau remontant depuis le fond du bac.

Le débit entrant dans le montage est régulé par l'intermédiaire d'une vanne manuelle, suivie d'un débitmètre volumétrique permettant de contrôler le flux. Il est généralement réglé entre 500 et 1 000 L/h. Par conséquent, le volume de la cellule de mesure est renouvelé entièrement toutes les une à trois minutes.

La cellule peut être purgée par le bas, lequel est relié à une conduite d'évacuation. La purge est contrôlée par une autre vanne manuelle. Pour le nettoyage régulier du dispositif, il est impératif de pouvoir purger la cellule de mesure. Dans les usines du SEDIF, les montages expérimentaux bénéficient tous d'une arrivée d'eau potable fournissant un débit confortable pour leur nettoyage dans de bonnes conditions.

La sonde Fluocopée® est introduite par l'extrémité supérieure du montage grâce à un couvercle conçu pour s'y adapter spécifiquement. Elle est insérée dans un tuyau en PVC à ajustement glissant. Le tuyau en PVC est lui-même cerclé dans un couvercle dont les dimensions lui permettent de se positionner sur l'extrémité supérieure de la cellule de mesure. Toutes les dimensions de ce couvercle sont choisies de façon à obstruer l'intérieur du montage de la lumière ambiante. Le reste du corps de la cellule de mesure et des conduites est également réalisé en PVC opaque pour les mêmes raisons.

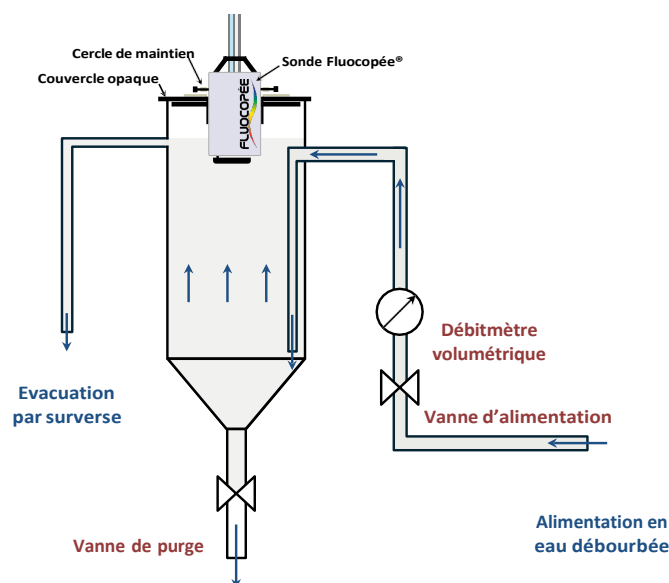


Figure 2 – Schéma de la cellule de mesure installée au sein des usines de potabilisation du SEDIF pour accueillir la sonde Fluocopée®



Figure 3 – Photographie du montage expérimental dans lequel sont installées les sondes Fluocopée® dans les usines du SEDIF (exemple de Choisy-le-Roi)

Les trois usines du SEDIF offrent les mêmes conditions d'accueil pour la sonde Fluocopée®. Chaque site dispose d'un montage expérimental construit selon le même modèle et offrant le même niveau d'équipement. Il existe toujours un accès à une alimentation électrique et en eau potable. Les sondes installées sur ces sites bénéficient donc de conditions d'exploitation particulièrement favorables. La cellule de mesure garantit que les mesures de fluorescence sont bien réalisées dans l'obscurité. Quelques mesures de contrôle ont d'ailleurs montré que le montage occultait efficacement toute la lumière ambiante.

2.1.2. Installation des sondes sur les stations multiparamétriques du SIAAP

Sur les trois stations du PAA, de Bougival et d'Andrésey, les sondes sont plongées directement en Seine. Contrairement aux cellules de mesure des usines du SEDIF, cette disposition ne permet pas de protéger les sondes de la lumière ambiante. Elles sont donc équipées d'un cache en plastique afin de réduire au maximum la pollution lumineuse due à la lumière ambiante. En outre, sur les sites de Bougival et du PAA, la configuration des lieux contribue à limiter le rayonnement solaire direct sur les sondes.

À Bougival, l'ensemble des instruments d'analyse est installé sur un ponton flottant équipé d'un local préfabriqué (Fig. 4). La sonde Fluocopée® est plongée dans la Seine depuis un puits aménagé dans le sol du local. L'unité de surface est ainsi protégée des intempéries et des aléas climatiques à l'intérieur du local. Celui-ci est climatisé en été et chauffé en hiver, garantissant des conditions idéales pour le fonctionnement des appareils électroniques. Comme la sonde est plongée dans la Seine depuis l'intérieur même du local, elle se trouve à l'ombre du ponton pendant une grande partie de la journée.

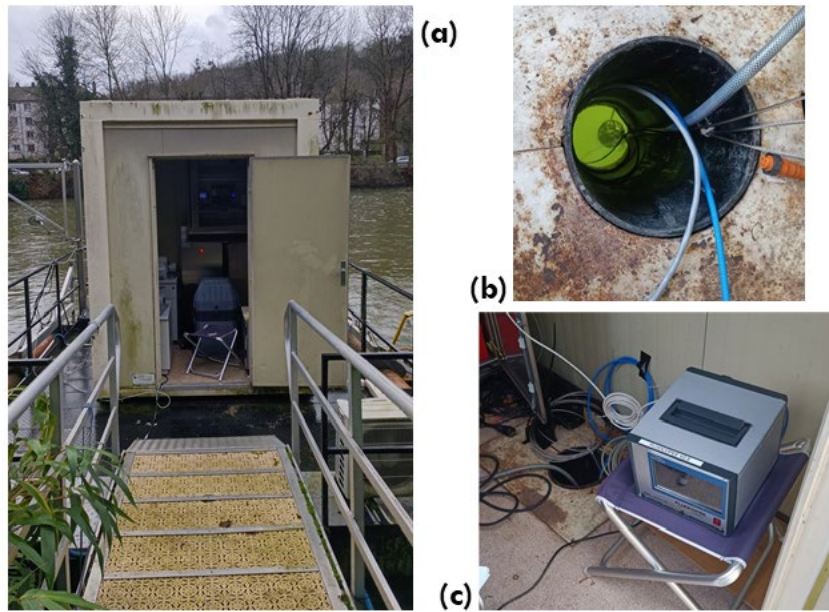


Figure 4 – Installation de la sonde Fluocopée sur la station multiparamétrique de Bougival avec (a) la vision d’ensemble de la station multiparamétrique, (b) le puits creusé dans le local dans lequel le capteur est immergé en Seine, (c) le module de surface installé dans le local

La station du PAA est organisée selon une configuration similaire. Les instruments de mesure y sont également installés sur un ponton flottant, à proximité de l’écluse de la rive droite du barrage du Port à l’Anglais (Fig. 5). Le capteur est plongé dans la Seine entre le ponton et la berge. Il bénéficie donc lui aussi de l’ombre projetée par le ponton durant la majeure partie de la journée. Contrairement à Bougival, le PAA ne dispose pas d’un local climatisé et chauffé pour accueillir les composants électriques et électroniques des analyseurs. Ceux-ci sont installés dans des armoires électriques montées sur le ponton flottant. Les instruments sont de ce fait plus exposés à la surchauffe lors des épisodes de forte chaleur. Il convient donc d’être particulièrement attentif à la qualité de leurs données dans ces conditions.

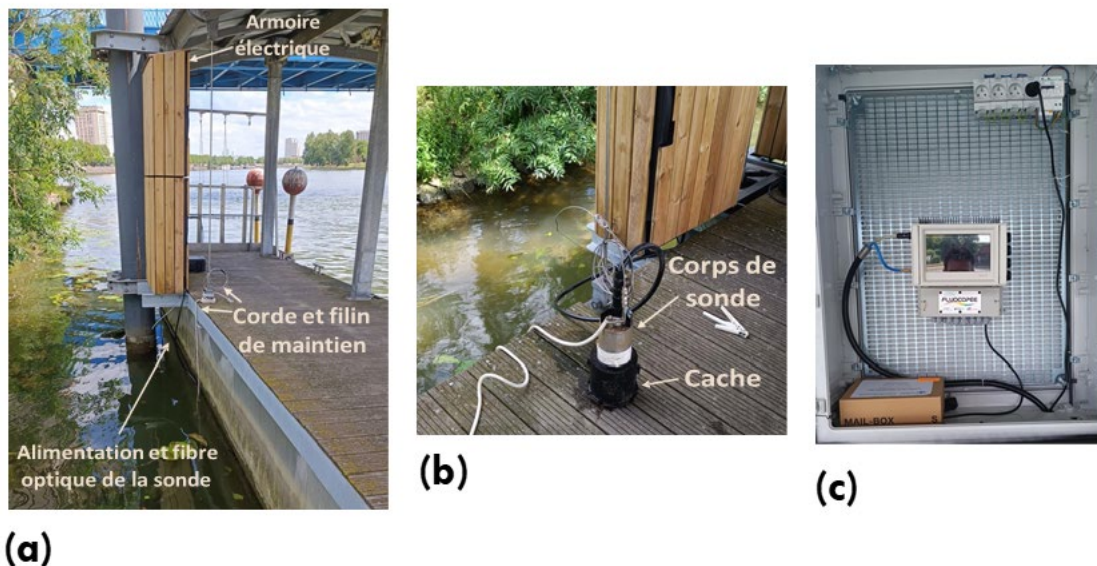


Figure 5 : Installation de la sonde Fluocopée sur la station multiparamétrique du Port à l’Anglais avec (a) la vision d’ensemble de la station multiparamétrique du PAA avec le capteur plongé dans la Seine, (b) le capteur sur le ponton de la station, (c) le module de surface dans l’armoire électrique

La troisième station multiparamétrique MeSeine équipée d'une sonde Fluocopée® est celle d'Andrésey. Elle n'est cette fois-ci pas installée sur un ponton flottant, mais à l'extrémité amont de l'écluse du barrage d'Andrésey. Comme au PAA, les modules de surface des analyseurs sont fixés dans une armoire électrique en métal, exposée directement au soleil la majeure partie de la journée. Lors des journées d'été les plus ensoleillées, la température y augmente très rapidement et peut atteindre des valeurs supérieures à 50 °C.

Pour préserver les composants électroniques du module de surface de la sonde, il a été choisi de le monter à l'extérieur de l'armoire électrique, dans une boîte qui lui est dédiée (Fig. 6). Le module de surface est certifié étanche aux projections d'eau et à la pluie. La caisse a donc pour fonction principale de le protéger des chocs lors de la manipulation des autres appareils de la station. Cette caisse a été adaptée sur mesure à la sonde avec l'aide de l'atelier mécanique de l'OSU Efluve. Elle est fixée à la plateforme grillagée de l'écluse.

Le capteur est installé dans un panier métallique qui accueille également les autres instruments de mesure de la station. Ce panier est manipulé depuis la plateforme, puis plongé dans la Seine à l'aide d'un treuil. La course du panier est guidée par un rail, de sorte qu'il reste solidaire de l'écluse en toutes circonstances. Le cache du capteur est maintenu fixé au panier à l'aide de colliers Rilsan. Pour mettre en place le capteur, il suffit de le glisser dans le cache. Le positionnement du panier et l'ajustement du cache sur le capteur garantissent que l'ensemble demeure solidaire du panier.

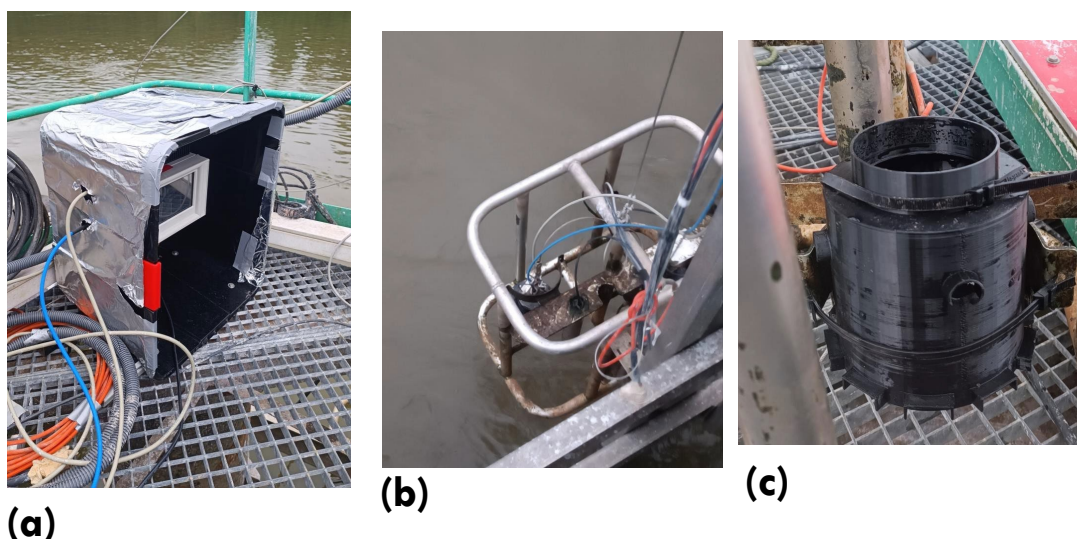


Figure 6 : Installation de la sonde sur la station multiparamétrique d'Andrésey avec (a) le module de surface, (b) le capteur dans le panier avant immersion, (c) le cache pour protéger le capteur de la lumière

2.2. Réglage des séquences de mesure

Une fois installées sur leur site d'analyse, les sondes Fluocopée® doivent être configurées par l'ajustement de plusieurs paramètres. Cette étape vise à optimiser la qualité des mesures acquises et à maximiser la quantité d'informations exploitables lors du traitement et de l'interprétation des chroniques de fluorescence.

Cinq principaux paramètres doivent être réglés dans les séquences pour garantir la qualité du suivi des mesures de fluorescence :

- Sélection des couples $\lambda_{ex/em}$ à suivre ;
- Réglage du gain électronique du détecteur (photomultiplicateur) pour chaque couple $\lambda_{ex/em}$;
- Réglage des mesures de la pollution lumineuse ;
- Réglage des mesures du suivi de la dérive du signal (système de contrôle interne de la dérive) ;
- Réglage de la temporisation entre chaque séquence de suivi.

Les procédures employées pour le réglage des séquences sont présentées par ailleurs (Raoult, 2025).

2.3. Maintenance sur site des sondes Fluocopée®

Après avoir sélectionné l'ensemble de ces paramètres, les sondes Fluocopée® sont idéalement réglées pour acquérir des chroniques de fluorescence. Il faut désormais intervenir régulièrement pour s'assurer de leur

bon fonctionnement et garantir la stabilité de leurs données. Pour ce faire, il convient de les nettoyer régulièrement, ainsi que le montage dans lequel elles sont installées. Il est également nécessaire d'inspecter les chroniques de données afin de vérifier le bon état général de la chaîne de mesure. Enfin, un protocole de calibration sur le terrain a été développé afin de disposer d'une méthode supplémentaire permettant de prévenir les effets de dérives trop importantes du signal de la sonde.

2.3.1.Interventions hebdomadaires

Bien que le capteur soit équipé d'un balai destiné à prévenir l'encrassement de sa fenêtre optique, il reste préférable d'intervenir régulièrement pour effectuer un nettoyage complémentaire. Il en va de même pour la cellule de mesure installée dans les usines du SEDIF, ainsi que pour les caches en plastique protégeant les sondes de la pollution lumineuse sur les stations de l'observatoire MeSeine.

Sur les stations de potabilisation du SEDIF, l'alimentation du dispositif en eau débourbée, plutôt qu'en eau brute de rivière, a contribué à limiter l'encrassement de la cellule de mesure et du capteur. Aucun encrassement des sondes concernées n'a été observé. Le simple passage d'un papier adapté au nettoyage des surfaces délicates (Kim-tech) a toujours suffi à retirer les dépôts éventuels sur les parties du corps de la sonde non couvertes par le trajet du balai.

Sur les stations MeSeine, les effets de l'encrassement n'ont été observés qu'en une seule occasion. Le reste du temps, le balai a rempli son office puisque la surface que couvre sa course ne montrait pas d'encrassement.

L'intervention hebdomadaire d'un opérateur est également un moyen de vérifier le bon état de fonctionnement de la sonde.

2.3.2.Prétraitement et vérification des données

Si les dysfonctionnements majeurs peuvent être détectés simplement à partir d'une vision d'ensemble du fonctionnement de la sonde, d'autres dysfonctionnements ne peuvent être mis en évidence qu'en inspectant en détail les données brutes. Un outil numérique de prétraitement des données a été développé pour faciliter l'inspection détaillée de tous les signaux de la sonde. Il est utilisé en post-traitement, après l'extraction des données de la sonde, et se présente sous la forme d'un *notebook* Jupyter codé en Python. Son utilisation poursuit deux objectifs principaux. Il permet d'abord d'unifier les données brutes au sein d'un même fichier de sortie selon un format standardisé. Il propose également un outil de visualisation souple et dynamique des données acquises pendant le suivi. Il est ainsi possible de faire apparaître tout ou partie des signaux de la sonde sous forme de séries temporelles interactives.

Lors de chaque intervention hebdomadaire, les données brutes du suivi en cours sont extraites et prétraitées. Leur inspection détaillée, grâce à cet outil de visualisation, permet de s'assurer rapidement et régulièrement du bon fonctionnement de la sonde. Il s'agit également d'une manière de collecter et de stocker régulièrement ces données afin de garantir leur conservation dans de bonnes conditions.

2.3.3.Calibrations mensuelles sur le terrain

Des équations de calibration sont établies pour tous les couples $\lambda_{ex/em}$ grâce aux tests de qualification menés au laboratoire. Cependant, après leur installation sur le terrain, il est possible que les signaux mesurés subissent une dérive plus ou moins rapide. Cette dérive peut être compensée grâce au système de contrôle intégré à la sonde. Il a été décidé néanmoins, pour compenser les éventuels problèmes de dérive et pour évaluer l'efficacité de ce système de contrôle intégré, d'organiser des calibrations mensuelles sur le terrain. Elles ont pour but d'actualiser les équations de calibration et de vérifier leur stabilité dans le temps.

Conclusion : premier bilan sur le déploiement de l'observatoire MeSeine-Matos

L'installation de sondes Fluocopée® sur six stations de mesure réparties autour de l'agglomération parisienne constitue l'observatoire MeSeine-MatOS. Cet observatoire, adossé à l'observatoire MeSeine géré par le SIAAP, est labellisé par l'OSU Efluve (UPEC/CNRS). Ce réseau de capteurs a pour but de suivre *in situ* et à haute fréquence les qualité et quantité de la MOD sur la Seine, la Marne et l'Oise grâce à des analyses en spectrométrie de fluorescence. Il permet d'étudier la variabilité spatio-temporelle des quantité et qualité de la MOD dans le bassin de la Seine, ses sources et flux, l'impact des rejets urbains dans une rivière sous forte pression anthropique, les processus biogéochimiques en Seine et ainsi d'améliorer leur modélisation. La possibilité de réaliser des mesures à haute fréquence (4 mesures par heure) est particulièrement intéressante pour mieux suivre les événements transitoires (dysfonctionnement en STEU, rejets de temps de pluie...).

Cet observatoire s'appuie sur des infrastructures déjà existantes et opérées par des industriels. Les stations du PAA, de Bougival et d'Andrézy, faisant toutes partie de l'observatoire MeSeine, ont été sélectionnées pour être équipées de sondes Fluocopée®. Les stations de l'observatoire MeSeine ont notamment pour but premier de caractériser l'impact des ouvrages du SIAAP sur la qualité de la Seine. Elles sont donc positionnées en aval du rejet de ses principaux ouvrages d'assainissement (STEU et DO). Les trois autres sites de mesure sont, eux, hébergés au sein des usines de potabilisation du SEDIF à Choisy-le-Roi, Neuilly-sur-Marne et Méry-sur-Oise. Ces usines sont situées en amont de l'agglomération parisienne dans des zones relativement peu impactées par les rejets urbains.

L'installation progressive des prototypes de la sonde Fluocopée® a débuté en octobre 2023. Les premiers résultats encore en cours de traitement ont permis de mettre en évidence l'intérêt des mesures à haute fréquence. Des flux robustes de carbone organique dissous ont notamment pu être calculés à Choisy-le-Roi sur l'année hydrologique 23/24 montrant notamment que 87 % du flux annuel est dû au flux en périodes de hautes eaux et seulement 13 % en période de basses eaux. En outre, l'impact de situations transitoires de faible durée (quelques heures), des rejets de temps de pluie en l'occurrence, a pu être mis en évidence. Ces résultats seront présentés dans le rapport de 2026.

En 2026, toutes les stations de mesure en temps réel de l'observatoire MeSeine vont être équipées de sondes Fluocopée® dans leur version industrielle avec en outre une nouvelle station à Poses. Ce maillage spatial plus fin va permettre de mieux suivre la dynamique de la MOD de l'amont de l'agglomération parisienne jusqu'à l'estuaire.

En outre, en 2026, une sonde Fluocopée devrait être déployée dans le bassin de l'Orgeval afin de décrire plus finement la dynamique de la MOD dans ce bassin versant.

Bibliographie

- Barker, J. D., Sharp, M. J., & Turner, R. J. (2009). Using synchronous fluorescence spectroscopy and principal components analysis to monitor dissolved organic matter dynamics in a glacier system. *Hydrological Processes*, 23(10), 1487-1500.
- Bieroza, M., Acharya, S., Benisch, J., ter Borg, R. N., Hallberg, L., Negri, C., Pruitt, A., Pucher, M., Saavedra, F., Staniszewska, K., van't Veen, S. G. M., Vincent, A., Winter, C., Basu, N. B., Jarvie, H. P., & Kirchner, J. W. (2023). Advances in Catchment Science, Hydrochemistry, and Aquatic Ecology Enabled by High-Frequency Water Quality Measurements [Publisher : American Chemical Society]. *Environmental Science & Technology*, 57(12), 4701-4719.
- Carstea, E. M., Bridgeman, J., Baker, A., & Reynolds, D. M. (2016). Fluorescence spectroscopy for wastewater monitoring : A review. *Water Research*, 95, 205-219.
- Coble, P. G. (2014). Aquatic Organic Matter Fluorescence. *Cambridge University Press*.
- Flipo, N., Lestel, L., Labadie, P., Meybeck, M., & Garnier, J. (2021). Trajectories of the Seine River Basin. In N. Flipo, P. Labadie & L. Lestel (Éd.), *The Seine River Basin* (p. 1-28). *Springer International Publishing*.
- Goffin, A. (2017). Potentiel d'utilisation de la spectrofluorimétrie 3D pour la caractérisation en ligne de la matière organique dissoute : de la station d'épuration au milieu récepteur. Thèse de doctorat (287 p), *Université Paris-Est Créteil*, soutenue le 29 novembre 2017
- Goffin, A., Guérin, S., Rocher, V., & Varrault, G. (2018). Towards a better control of the wastewater treatment process : excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy of dissolved organic matter as a predictive tool of soluble BOD5 in influents of six Parisian wastewater treatment plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(9), 8765-8776.
- Goffin, A., Varrault, G., Musabimana, N., Raoult, A., Yilmaz, M., Guérin-Rechdaoui, S., & Rocher, V. (2024). Improving monitoring of dissolved organic matter from the wastewater treatment plant to the receiving environment : A new high-frequency in situ fluorescence sensor capable of analyzing 29 pairs of Ex/Em wavelengths. *Spectro-chimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 125153. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.125153>
- Huguet, A., Vacher, L., Relexans, S., Saubusse, S., Froidefond, J. M., & Parlanti, E. (2009). Properties of fluorescent dissolved organic matter in the Gironde Estuary. *Organic Geochemistry*, 40(6), 706-719.
- Lu, H., Mei, D., Pavao-Zuckerman, M., Wang, Q., Hong, H., Wu, S., Xu, M., Zhu, X., Liu, J., & Yan, C. (2019). Combination of DGT and fluorescence spectroscopy for improved understanding of metal behaviour in mangrove wetland. *Chemosphere*, 229, 303-313.
- Matar, Z. (2012). Influence de la matière organique dissoute d'origine urbaine sur la spéciation et la biodisponibilité des métaux dans les milieux récepteurs anthropisés. Thèse de doctorat (258 p). *Université Paris-Est Créteil*, soutenue le 10 décembre 2012.
- Raoult (2025). Caractérisation in situ et à haute fréquence de la matière organique dissoute dans les milieux aquatiques sous fortes pressions anthropiques à partir d'une nouvelle technologie de spectrométrie de fluorescence. Thèse de doctorat (504p), *Université Paris-Est Créteil* soutenue le 13 novembre 2025.
- Rodríguez-Vidal, F. J., García-Valverde, M., Ortega-Azabache, B., González-Martínez, Á., & Bellido-Fernández, A. (2020). Characterization of urban and industrial wastewaters using excitation-emission matrix (EEM) fluorescence : Searching for specific fingerprints. *Journal of Environmental Management*, 263, 110396.