

MeSeine-MatOS : un observatoire à haute fréquence de la matière organique dissoute

De la compréhension des milieux aquatiques aux applications opérationnelles

G. Varrault¹, A. Goffin¹, A. Raoult¹, A. Poirier¹, M. Dechesne¹, N. Musabimana¹, S. Guerin², V. Rocher², S. Thibert³, K. Delabre³, F. Chauvière³, R. Krimou², J. Mougin²

¹ LEESU, Univ Paris Est Creteil, ENPC, Institut Polytechnique de Paris, Creteil, 94010, France

² SIAAP, Direction Innovation, Colombes, 92700, France

³ SEDIF, Paris, 75006, France,

La matière organique

Matière organique

Molécules d'origine biologique structurées autour de chaînes hydrocarbonées



Milieux aquatiques
continentaux
(lacs, rivières)

La matière organique

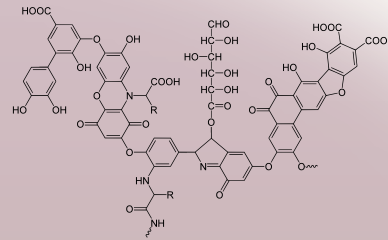
Matière organique

Molécules d'origine biologique structurées autour de chaînes hydrocarbonées

Matière organique d'origine terrigène

Mature et aromatique

Issue de la transformation des résidus animaux et végétaux^[1,2]



Milieux aquatiques
continentaux
(lacs, rivières)

¹Schnitzer (1976) ; ²Leenheer & Croué (2003) ; ³Boyd & Osburn (2004) ; ⁴Veyssy (1998)

La matière organique

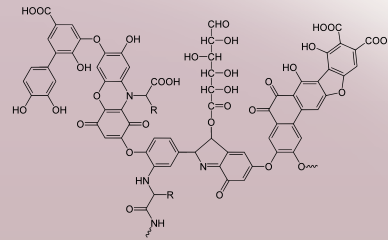
Matière organique

Molécules d'origine biologique structurées autour de chaînes hydrocarbonées

Matière organique d'origine terrigène

Mature et aromatique

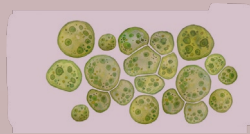
Issue de la transformation des résidus animaux et végétaux^[1,2]



Production autochtone^[3,4]

Producteurs primaires
Lyse cellulaire
Excrétions microbiennes
Dégradation des végétaux
aquatiques

...



Milieux aquatiques
continentaux
(lacs, rivières)

¹Schnitzer (1976) ; ²Leenheer & Croué (2003) ; ³Boyd & Osburn (2004) ; ⁴Veyssy (1998)

La matière organique

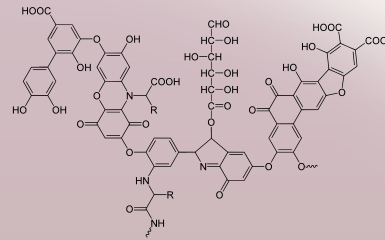
Matière organique

Molécules d'origine biologique structurées autour de chaînes hydrocarbonées

Matière organique d'origine terrigène

Mature et aromatique

Issue de la transformation des résidus animaux et végétaux^[1,2]



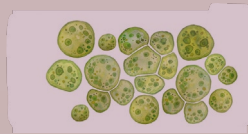
Matière organique d'origine anthropique

Effluents industriels et agricoles
Rejets urbains

Production autochtone^[3,4]

Producteurs primaires
Lyse cellulaire
Excrétions microbiennes
Dégradation des végétaux aquatiques

...



Milieux aquatiques continentaux
(lacs, rivières)

¹Schnitzer (1976) ; ²Leenheer & Croué (2003) ; ³Boyd & Osburn (2004) ; ⁴Veyssy (1998)

La matière organique

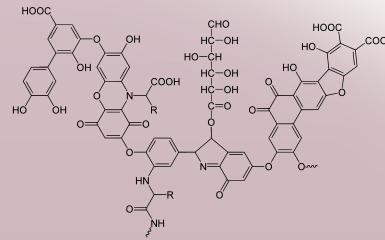
Matière organique

Molécules d'origine biologique structurées autour de chaînes hydrocarbonées

Matière organique d'origine terrigène

Mature et aromatique

Issue de la transformation des résidus animaux et végétaux^[1,2]



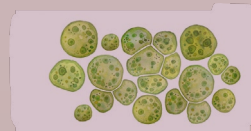
Matière organique d'origine anthropique

Effluents industriels et agricoles
Rejets urbains

Production autochtone^[3,4]

Producteurs primaires
Lyse cellulaire
Excrétions microbiennes
Dégradation des végétaux aquatiques

...



Matière Organique Dissoute (MOD)

$\leq 0,7 \mu m$

$> 0,7 \mu m$

Matière Organique Particulaire (MOP)



Milieux aquatiques continentaux
(lacs, rivières)

¹Schnitzer (1976) ; ²Leenheer & Croué (2003) ; ³Boyd & Osburn (2004) ; ⁴Veyssy (1998)

La matière organique

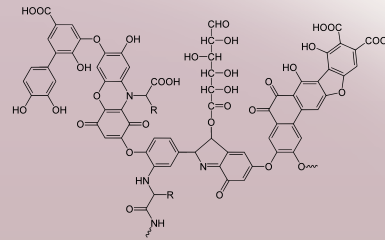
Matière organique

Molécules d'origine biologique structurées autour de chaînes hydrocarbonées

Matière organique d'origine terrigène

Mature et aromatique

Issue de la transformation des résidus animaux et végétaux^[1,2]



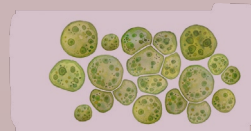
Matière organique d'origine anthropique

Effluents industriels et agricoles
Rejets urbains

Production autochtone^[3,4]

Producteurs primaires
Lyse cellulaire
Excrétions microbiennes
Dégradation des végétaux aquatiques

...



Matière Organique Dissoute (MOD)

$\leq 0,7 \mu m$

$> 0,7 \mu m$

Matière Organique Particulaire (MOP)



Milieux aquatiques continentaux
(lacs, rivières)

Pourquoi s'y intéresser ?

Processus biogéochimiques dans les milieux aquatiques

- Flux de GES
- Cycle des nutriments
- Désoxygénation des milieux
- Biodisponibilité des micropolluants



Pourquoi s'y intéresser ?

Processus biogéochimiques dans les milieux aquatiques

- Flux de GES
- Cycle des nutriments
- Désoxygénation des milieux
- Biodisponibilité des micropolluants



En station d'épuration

- Un des paramètres principaux à éliminer
- Impact sur la qualité des milieux récepteurs



STEU de Valenton (SIAAP)

Pourquoi s'y intéresser ?

Processus biogéochimiques dans les milieux aquatiques

- Flux de GES
- Cycle des nutriments
- Désoxygénation des milieux
- Biodisponibilité des micropolluants



En station d'épuration

- Un des paramètres principaux à éliminer
- Impact sur la qualité des milieux récepteurs



STEU de Valenton (SIAAP)

En usine de potabilisation

- Un des paramètres principaux à éliminer
- Impact sur la qualité de l'eau potable
 - Reviviscence bactérienne dans les réseaux
 - Formation de sous-produits de désinfection



Comment caractériser la MOD ?

Méthodes optiques telles que la spectrofluorescence

- Préparation simple de l'échantillon
- Analyse rapide (quelques minutes)
- Peu onéreuse

Comment caractériser la MOD ?

Méthodes optiques telles que la spectrofluorescence

- Préparation simple de l'échantillon
- Analyse rapide (quelques minutes)
- Peu onéreuse

Principe de l'analyse en spectrofluorescence

- **Excitation** des molécules organiques (photons)
- **Désexcitation** de ces molécules organiques (photons)
- Une molécule capable d'émettre des photons après excitation = **fluorophore**



Minéraux fluorescents émettant de la lumière sous exposition à des UV.

Comment caractériser la MOD ?

Méthodes optiques telles que la spectrofluorescence

- Préparation simple de l'échantillon
- Analyse rapide (quelques minutes)
- Peu onéreuse

Principe de l'analyse en spectrofluorescence

- **Excitation** des molécules organiques (photons)
- **Désexcitation** de ces molécules organiques (photons)
- Une molécule capable d'émettre des photons après excitation = **fluorophore**



Minéraux fluorescents émettant de la lumière sous exposition à des UV.

Permet de renseigner la nature chimique de la MOD et d'estimer certaines de ses propriétés (biodégradabilité....)

Permet d'estimer rapidement des paramètres d'intérêt couramment mesurés par les opérationnels

Développement de proxys pour estimer des paramètres d'intérêt en spectrofluorescence

En rivières, stations d'épuration, stations de potabilisation,....

- **Prélèvement d'échantillons ponctuels**

- Mesures du paramètre d'intérêt (DBO_5 ...) au laboratoire selon méthode de référence
- Mesures en spectrofluorescence

Développement de proxys pour estimer des paramètres d'intérêt en spectrofluorescence

En rivières, stations d'épuration, stations de potabilisation,....

- **Prélèvement d'échantillons ponctuels**
 - Mesures du paramètre d'intérêt (DBO_5 ...) au laboratoire selon méthode de référence
 - Mesures en spectrofluorescence
- **Mise en place de modèles prédictifs (proxys)**
 - Méthodes statistiques classiques (RLM, PCR, PLS,...), machine learning
 - Validation sur un jeu de test

Le COD en rivière

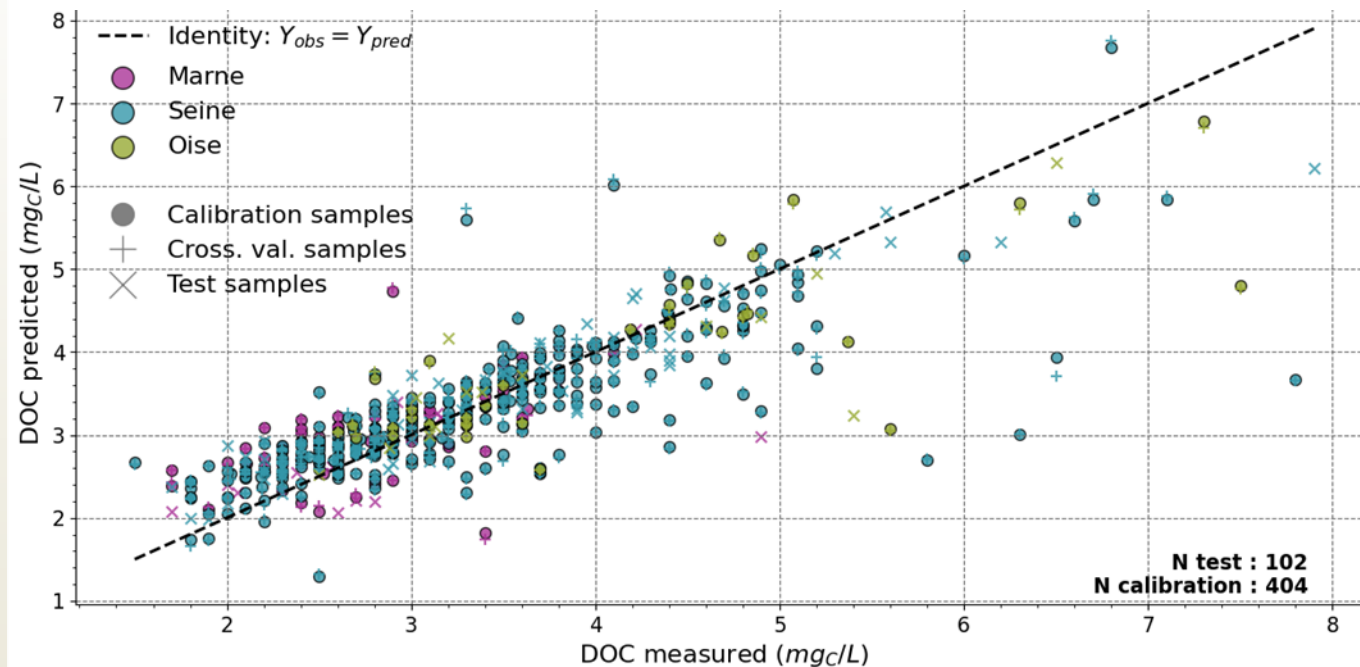
506 échantillons prélevés en 2015-2016 et en 2024-2026 (observatoire MeSeine), Seine, Marne et Oise

Thèses A. Goffin et A. Raoult

Le COD en rivière

506 échantillons prélevés en 2015-2016 et en 2024-2026 (observatoire MeSeine), Seine, Marne et Oise
Thèses A. Goffin et A. Raoult

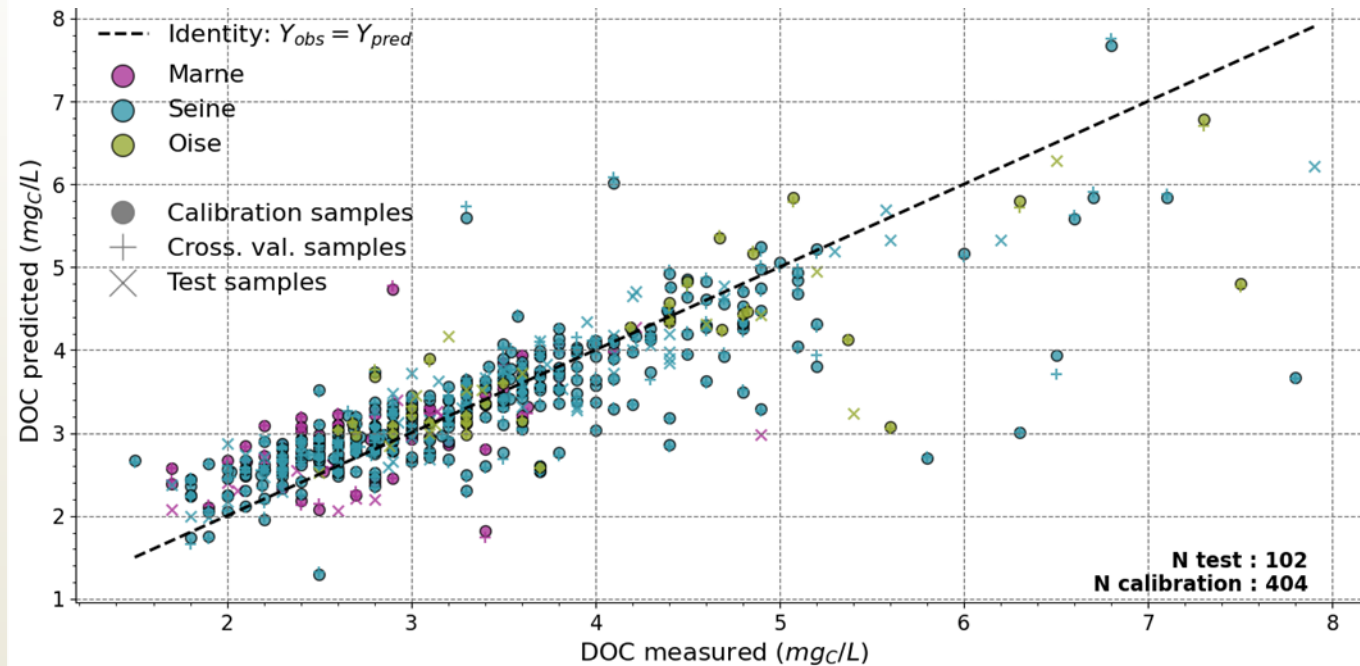
RLM avec 4 descripteurs (mesures de fluo)



Le COD en rivière

506 échantillons prélevés en 2015-2016 et en 2024-2026 (observatoire MeSeine), Seine, Marne et Oise
Thèses A. Goffin et A. Raoult

RLM avec 4 descripteurs (mesures de fluo)



Sur le jeu test

$R^2 = 0,80$

Résidu médian = 0,25 mgC.L⁻¹

Résidu relatif médian = 8%

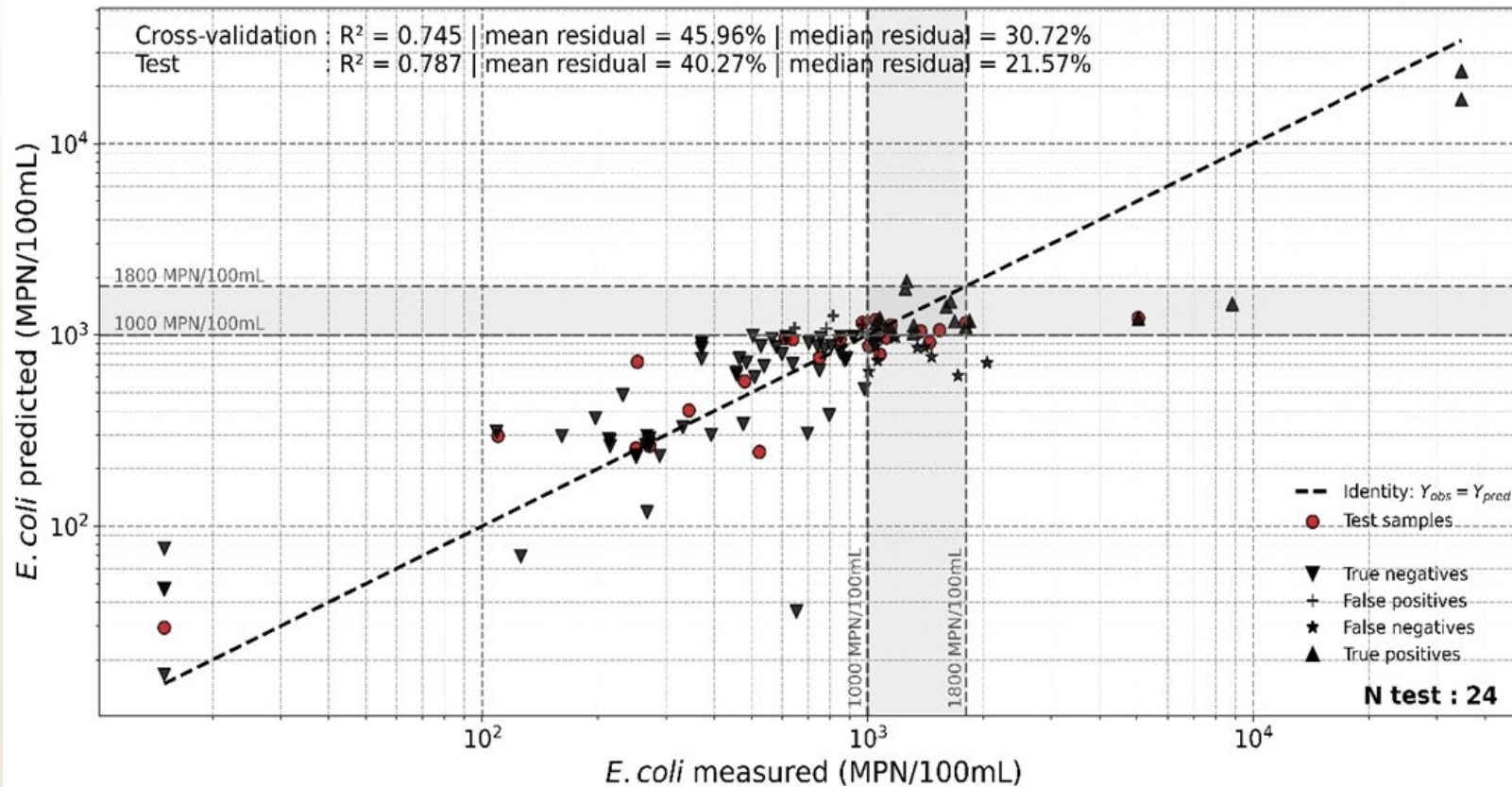
Transféré au SIAAP pour un usage en routine dans l'observatoire MeSeine

E.Coli (BIF)

118 échantillons prélevés fin été 2023, Pont de l'Alma

Thèse A. Raoult

Algorithme de machine learning supervisé (Extra Trees)



Sur le jeu test

$R^2 = 0,78$

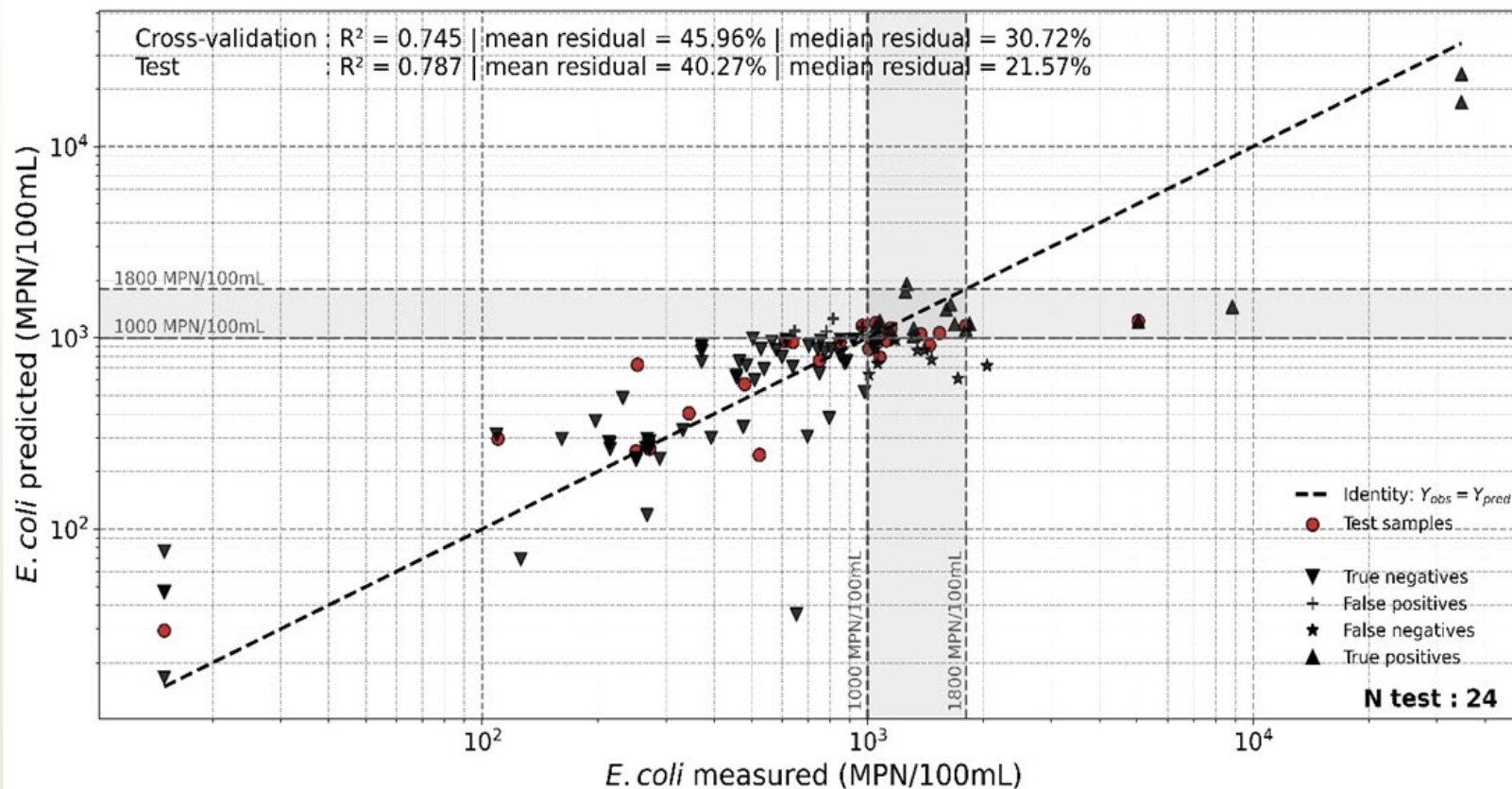
Résidu relatif médian = 22%

E.Coli (BIF)

118 échantillons prélevés fin été 2023, Pont de l'Alma

Thèse A. Raoult

Algorithme de machine learning supervisé (Extra Trees)



Sur le jeu test

$R^2 = 0,78$

Résidu relatif médian = 22%

Poursuite de l'utilisation de la fluo pour la gestion en temps réel des sites de baignade (Angélique Goffin)

Les autres proxys développés

Déjà transférés en routine

En STEU

- DBO_5 , DCO (2022 à 2026): *Thèse A. Poirier*

Les autres proxys développés

Déjà transférés en routine

En STEU

- DBO_5 , DCO (2022 à 2026): *Thèse A. Poirier*

Validés expérimentalement

En STEU

- BMP des boues d'épuration (2020 à 2023 et 2025-2026): *Thèses M. Dechesne et A. Poirier*

Dans les rejets urbains de temps de pluie

- CODB, biodégradabilité de la MOD (2022-2026): *Thèses A. Poirier et A. Raoult*

Les autres proxys développés

Déjà transférés en routine

En STEU

- DBO_5 , DCO (2022 à 2026): *Thèse A. Poirier*

Validés expérimentalement

En STEU

- BMP des boues d'épuration (2020 à 2023 et 2025-2026): *Thèses M. Dechesne et A. Poirier*

Dans les rejets urbains de temps de pluie

- CODB, biodégradabilité de la MOD (2022-2026): *Thèses A. Poirier et A. Raoult*

En développement

En usine de potabilisation

- Indice de traitabilité de la MOD: *postdoc A. Raoult*

Les autres proxys développés

Déjà transférés en routine

En STEU

- DBO_5 , DCO (2022 à 2026): *Thèse A. Poirier*

Validés expérimentalement

En STEU

- BMP des boues d'épuration (2020 à 2023 et 2025-2026): *Thèses M. Dechesne et A. Poirier*

Dans les rejets urbains de temps de pluie

- CODB, biodégradabilité de la MOD (2022-2026): *Thèses A. Poirier et A. Raoult*

En développement

En usine de potabilisation

- Indice de traitabilité de la MOD: *postdoc A. Raoult*

Ils permettent une mesure rapide mais :

- Prélèvement ponctuels
- Pas de mesure haute fréquence

Les autres proxys développés

Déjà transférés en routine

En STEU

- DBO_5 , DCO (2022 à 2026): *Thèse A. Poirier*

Validés expérimentalement

En STEU

- BMP des boues d'épuration (2020 à 2023 et 2025-2026): *Thèses M. Dechesne et A. Poirier*

Dans les rejets urbains de temps de pluie

- CODB, biodégradabilité de la MOD (2022-2026): *Thèses A. Poirier et A. Raoult*

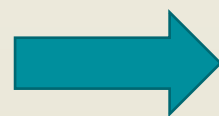
En développement

En usine de potabilisation

- Indice de traitabilité de la MOD: *postdoc A. Raoult*

Ils permettent une mesure rapide mais :

- Prélèvement ponctuels
- Pas de mesure haute fréquence



Développement d'une sonde
de fluorescence

Intérêt d'une sonde de fluorescence

- Mesures *in situ*
- Pas d'altération de l'échantillon avant analyse
- Mesures possibles à haute fréquence

Intérêt de la mesure haute fréquence

En rivière

Description d'événements transitoires brefs

- Rejets urbains temps de pluie, pollutions ponctuelles, variations hydrologiques rapides

Estimation robuste des flux de matière

Intérêt de la mesure haute fréquence

En rivière

Description d'événements transitoires brefs

- Rejets urbains temps de pluie, pollutions ponctuelles, variations hydrologiques rapides

Estimation robuste des flux de matière

En usine:

Pilotage en temps réel des usines en fonction des quantité/qualité de la MOD contenue dans l'eau à traiter

- Amélioration du traitement
- Économie énergie et réactifs

Intérêt d'une sonde de fluorescence

- Mesures *in situ*
- Pas d'altération de l'échantillon avant analyse
- Mesures possibles à haute fréquence
- Contraintes supplémentaires (effets de matrice, encrassement, dérive instrumentale, maintenance...)

Historique de la sonde Fluocopée



Développement
conjoint



+



Programme de recherche :



In situ

&

En continu

Haute fréquence

Pré-déploiements
des 1^{er} prototypes

STEU et rivière

2021

Pré-déploiements des prototypes
pré-industriels

STEU et rivière

2023

Commercialisation

2026

2019

Preuve de concept
Postdoc A. Goffin

2022

Brevet
Brevet : EP4040139A1

2024

Article scientifique
Goffin & Varrault (2024)

2026/2027

Déploiement à large échelle en
rivière et STEU

La sonde Fluocopée

Jusqu'à 29 couples Ex./Em.

→ Meilleure caractérisation de la MOD

Jusqu'à 6 mesures/h (avec 29 couples)

Permet d'estimer à HF de nombreux paramètres opérationnels (proxys)



La sonde Fluocopée

Jusqu'à 29 couples Ex./Em.

→ Meilleure caractérisation de la MOD

Jusqu'à 6 mesures/h (avec 29 couples)

Permet d'estimer à HF de nombreux paramètres opérationnels (proxys)

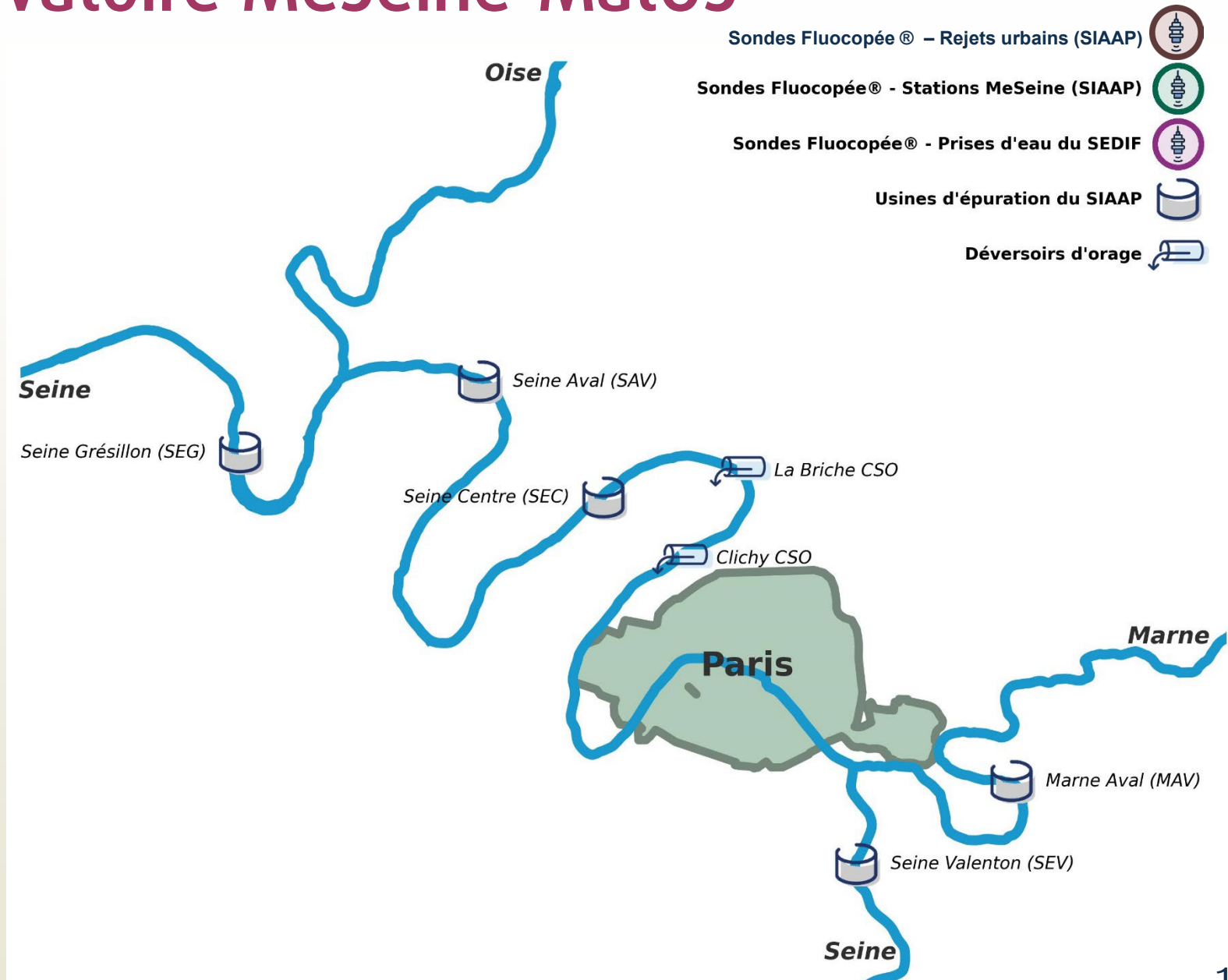
Obtention de données robustes

Fiabilisation de l'acquisition des données et de la chaîne de traitement

Thèse A. Raoult (2022-2025)



L'Observatoire MeSeine-MatOS



L'Observatoire MeSeine-MatOS



Usines de potabilisation du SEDIF



l'eau
D'ILE-DE-FRANCE
Source de confiance

Choisy-le-Roi (Seine)
Neuilly-sur-Marne (Marne)
Méry-sur-Oise (Oise)

Sondes Fluocopée® – Rejets urbains (SIAAP)



Sondes Fluocopée® - Stations MeSeine (SIAAP)



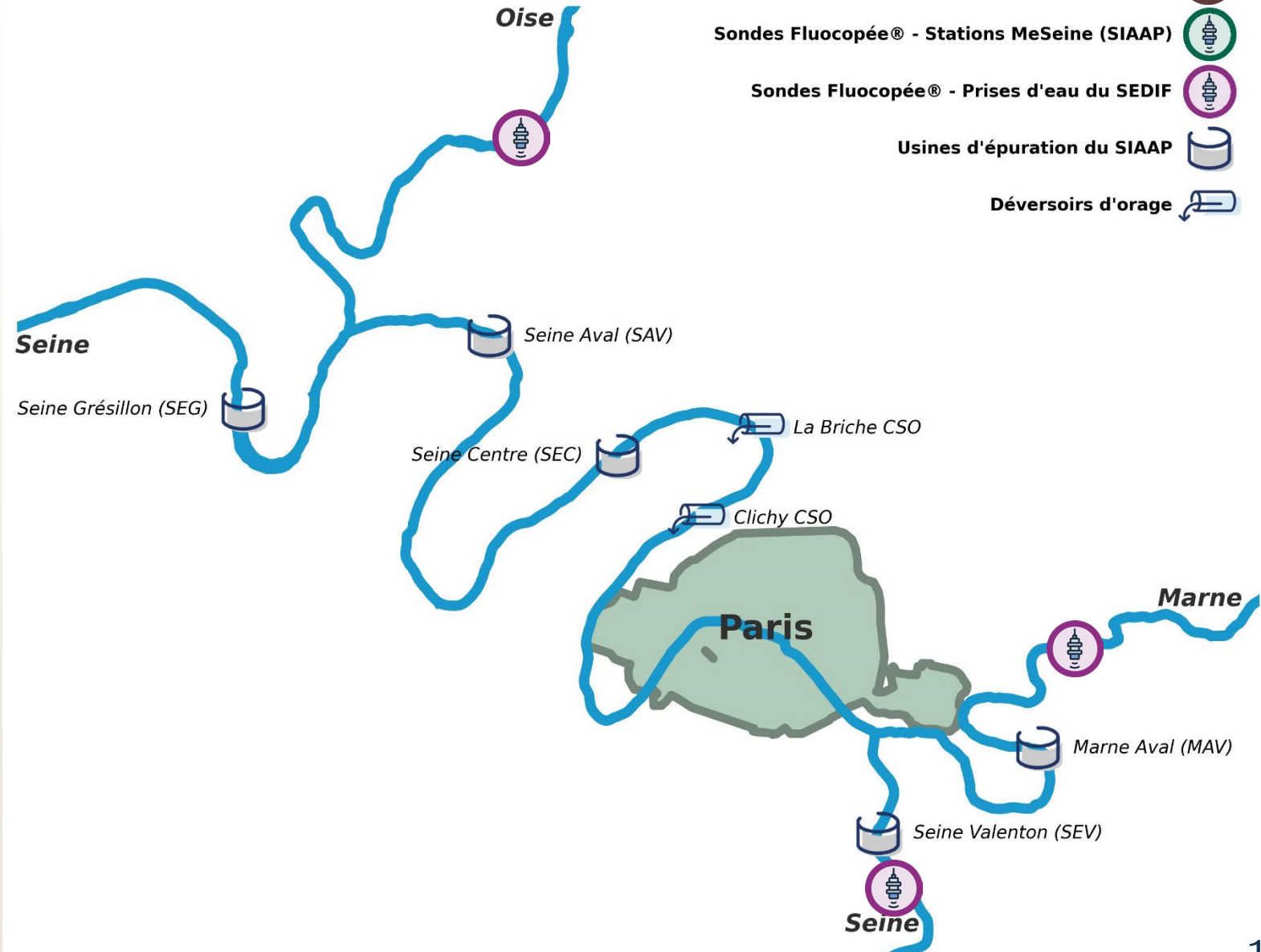
Sondes Fluocopée® - Prises d'eau du SEDIF



Usines d'épuration du SIAAP



Déversoirs d'orage



L'Observatoire MeSeine-MatOS



Usines de potabilisation du SEDIF



l'eau
D'ILE-DE-FRANCE
Source de confiance

Choisy-le-Roi (Seine)
Neuilly-sur-Marne (Marne)
Méry-sur-Oise (Oise)



Stations multiparamétriques MeSeine

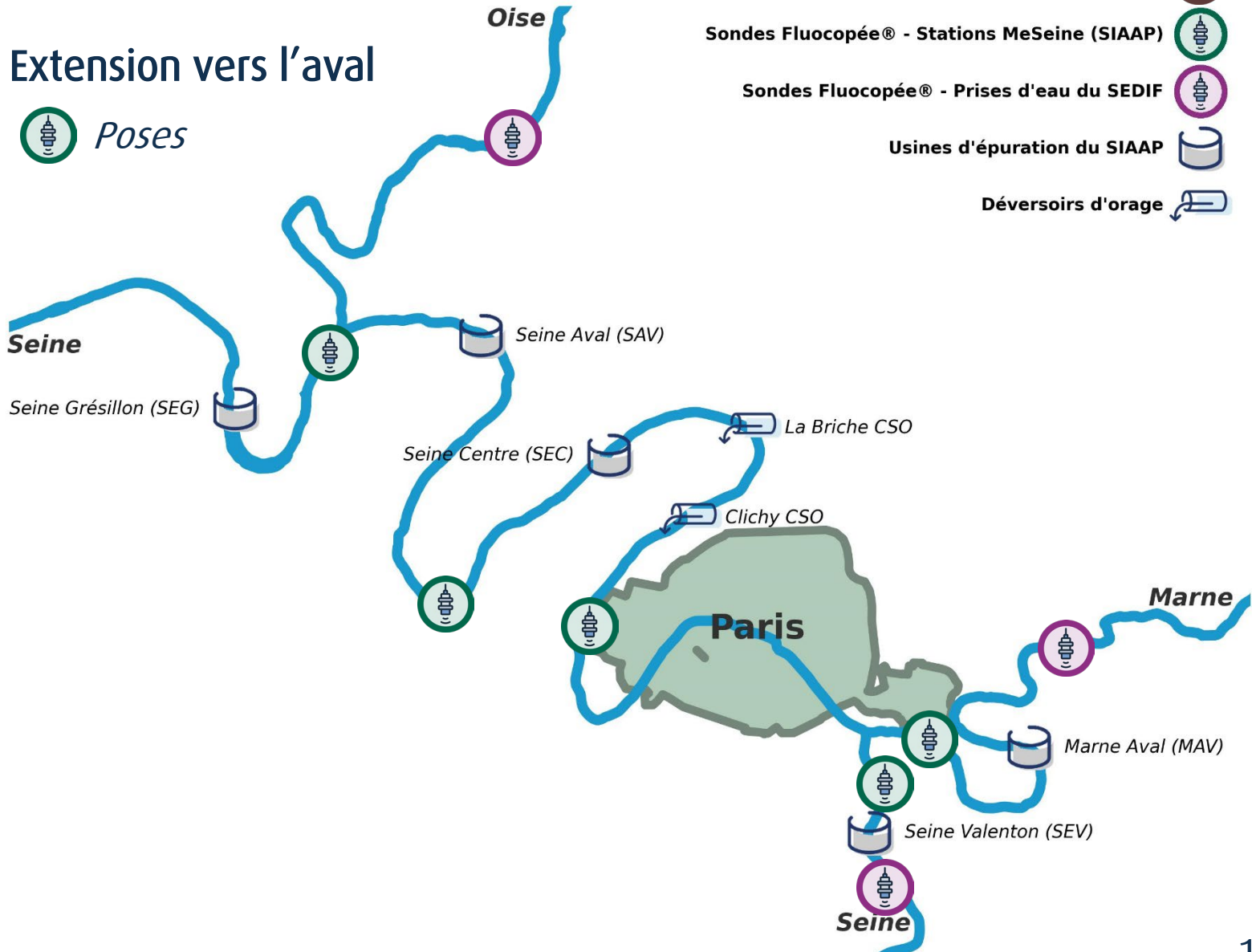


5 stations (Seine)
1 station (Marne)

Extension vers l'aval



Poses



L'Observatoire MeSeine-MatOS



Usines de potabilisation du SEDIF



l'eau
D'ILE-DE-FRANCE
Source de confiance

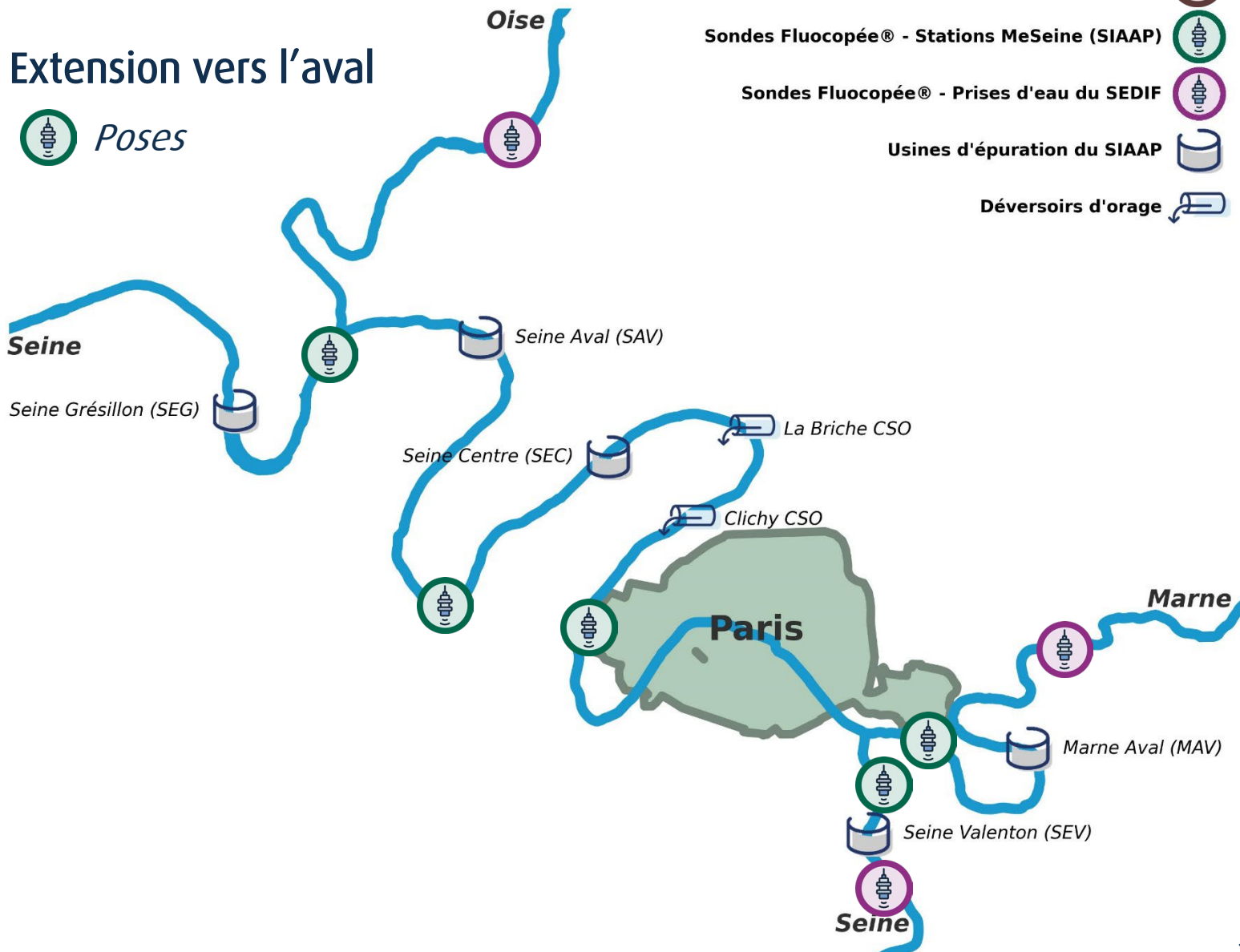


Stations multiparamétriques
MeSeine



9 stations en rivière

Extension vers l'aval





SYNDICAT
DES EAUX
D'ILE DE
FRANCE



SIAAP
Service public de l'assainissement francilien



SIAAP
Service public de l'assainissement francilien



Seine Grésillon (SEG)



Seine Centre (SEC)

 Clichy CSO

Marne

Seine Valenton (SEV)

Seine

L'Observatoire MeSeine-MatOS



Usines de potabilisation du SEDIF



l'eau
D'ÎLE-DE-FRANCE
Source de confiance



Stations multiparamétriques
MeSeine



9 stations en rivière

+

1 station RUTP



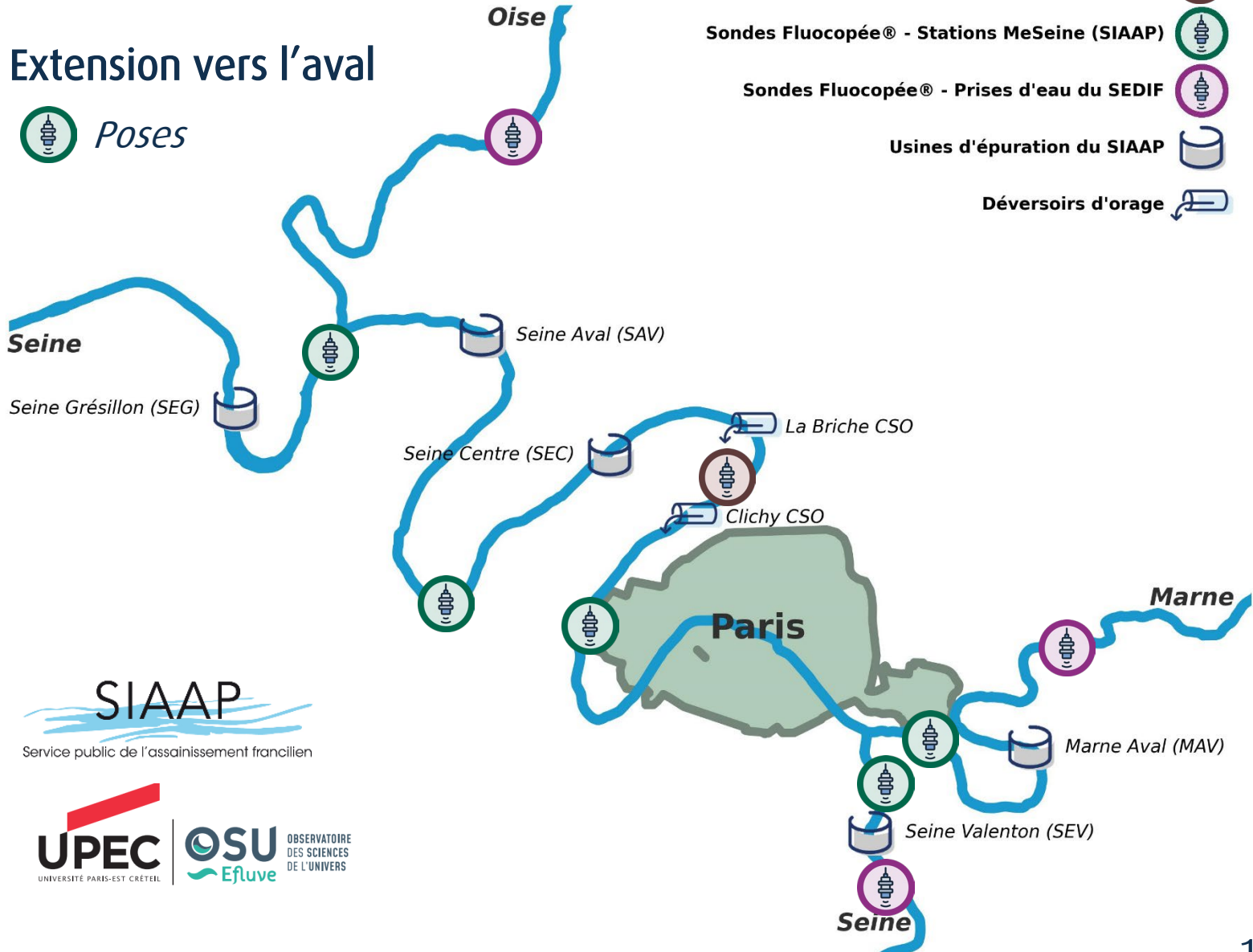
DO Clichy



Extension vers l'aval



Poses



L'Observatoire MeSeine-MatOS

1. La MOD qui vient de l'amont et son évolution vers l'aval de l'agglomération parisienne

- Nature, quantité et fraction biodégradable de la MOD.
- Variabilité spatiale de l'amont à l'aval, variabilité temporelle
- Réponse aux événements transitoires : rejets temps de pluie, crue, ...
- Transformation de la MOD lors du transport

L'Observatoire MeSeine-MatOS

1. La MOD qui vient de l'amont et son évolution vers l'aval de l'agglomération parisienne

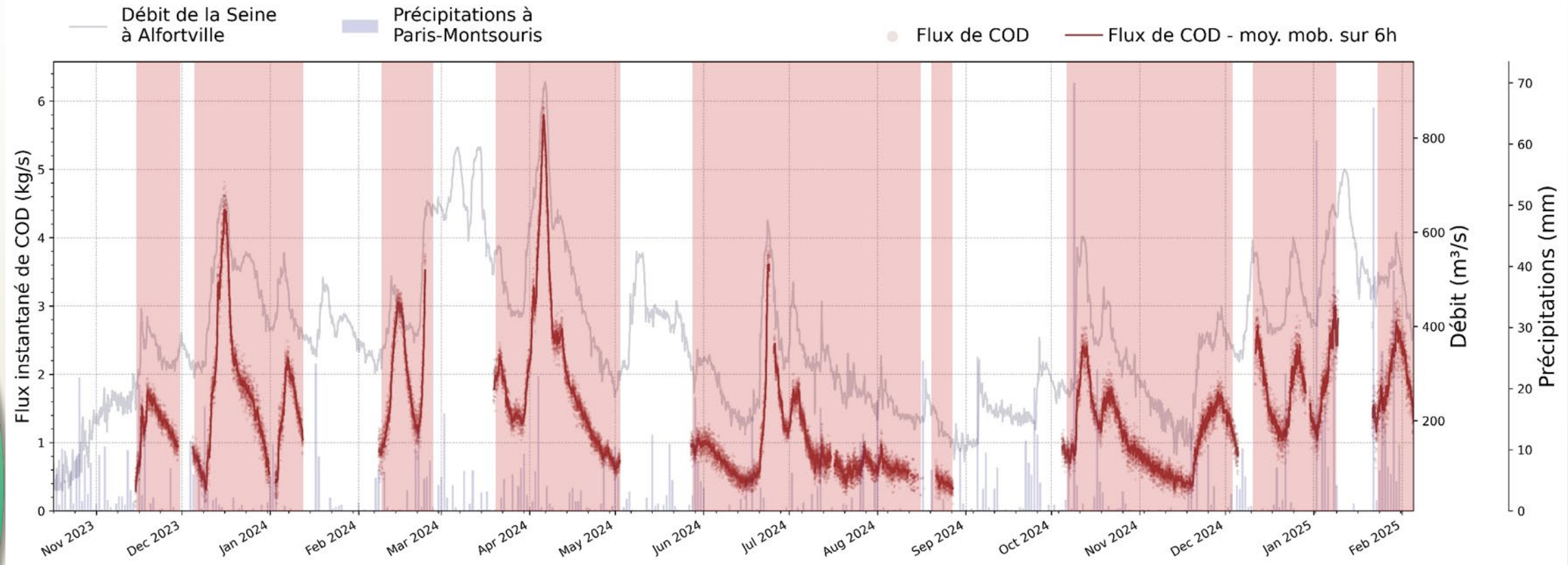
- Nature, quantité et fraction biodégradable de la MOD.
- Variabilité spatiale de l'amont à l'aval, variabilité temporelle
- Réponse aux événements transitoires : rejets temps de pluie, crue, ...
- Transformation de la MOD lors du transport

2. Flux de MOD

- Quantification robuste des flux de COD (CODB)

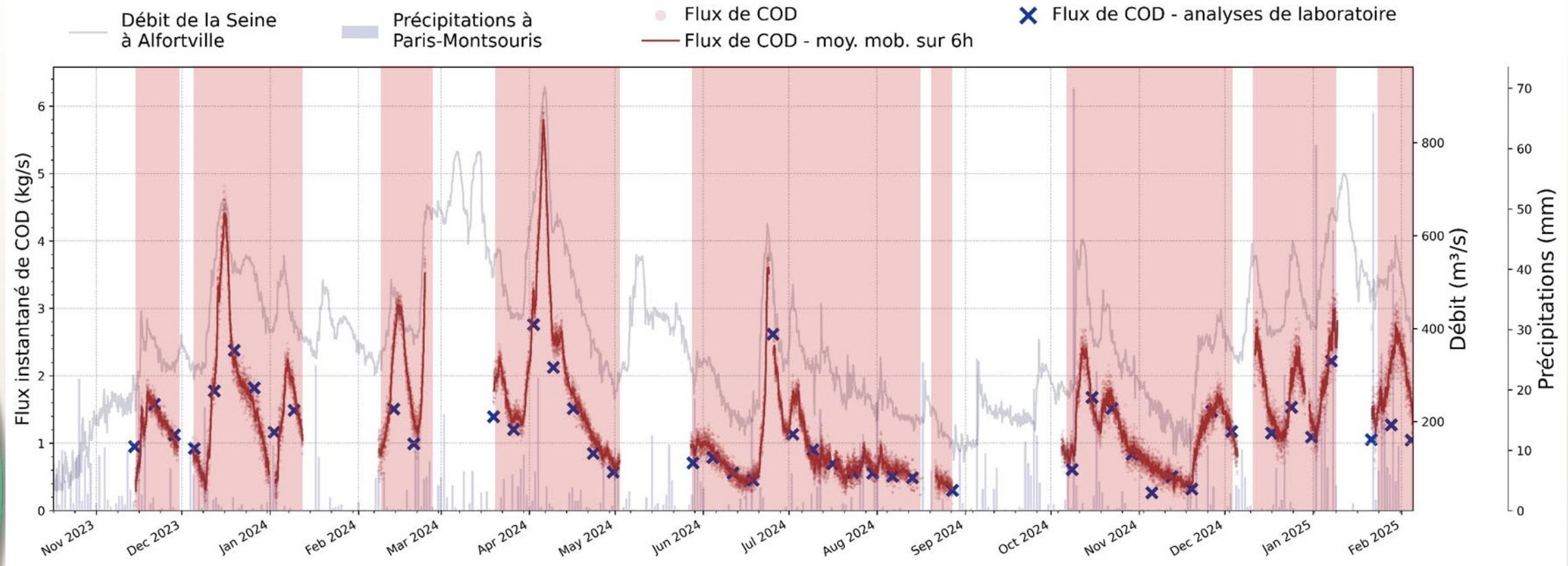
Estimation du flux de COD à Choisy-le-Roi

Présentation A. Raoult Journée scientifique du Piren-Seine



Estimation du flux de COD à Choisy-le-Roi

Présentation A. Raoult Journée scientifique du Piren-Seine



L'Observatoire MeSeine-MatOS

1. La MOD qui vient de l'amont et son évolution vers l'aval de l'agglomération parisienne

- Nature, quantité et fraction biodégradable de la MOD.
- Variabilité spatiale de l'amont à l'aval, variabilité temporelle
- Réponse aux événements transitoires : rejets temps de pluie, crue, ...
- Transformation de la MOD lors du transport

2. Flux de MOD

- Quantification robuste des flux de COD (CODB)

3. Contribution de l'agglomération parisienne

- Contribution des rejets de temps sec et de temps de pluie

L'Observatoire MeSeine-MatOS

1. La MOD qui vient de l'amont et son évolution vers l'aval de l'agglomération parisienne

- Nature, quantité et fraction biodégradable de la MOD.
- Variabilité spatiale de l'amont à l'aval, variabilité temporelle
- Réponse aux événements transitoires : rejets temps de pluie, crue, ...
- Transformation de la MOD lors du transport

2. Flux de MOD

- Quantification robuste des flux de COD (CODB)

3. Contribution de l'agglomération parisienne

- Contribution des rejets de temps sec et de temps de pluie

4. Conséquences sur le fonctionnement de la rivière

- Influence sur le métabolisme de la rivière
- Contribution de la MOD urbaine à la consommation d'oxygène

L'Observatoire MeSeine-MatOS

1. La MOD qui vient de l'amont et son évolution vers l'aval de l'agglomération parisienne

- Nature, quantité et fraction biodégradable de la MOD.
- Variabilité spatiale de l'amont à l'aval, variabilité temporelle
- Réponse aux événements transitoires : rejets temps de pluie, crue, ...
- Transformation de la MOD lors du transport

2. Flux de MOD

- Quantification robuste des flux de COD (CODB)

3. Contribution de l'agglomération parisienne

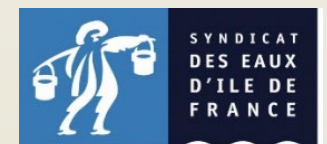
- Contribution des rejets de temps sec et de temps de pluie

4. Conséquences sur le fonctionnement de la rivière

- Influence sur le métabolisme de la rivière
- Contribution de la MOD urbaine à la consommation d'oxygène



DOM@Seine
2027-2031



Autres perspectives

- Déploiement sur le bassin de l'Orgeval à l'automne 2026
- Estuaire de la Seine ?



Riverlab, Orgeval



