

# REPOSES

*calibration et REprésentativité des  
mesures en continu à POSES*

*Lemoine J.P., Barrois J.M., Copard Y., Coynel, A., Debret  
M., Deloffre J., Koltalo F.,*



**GIP Seine-Aval**  
GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC



**Cerema**  
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

# RESUME EXECUTIF

Le projet RePoses visait à réaliser et analyser les mesures et prélèvements nécessaires à l'utilisation, l'interprétation et la valorisation scientifiques des mesures de turbidités réalisées par la station automatisée déployée à Poses à l'automne 2023 par la société DTek.

Le projet a permis :

1. D'établir une relation turbidité / [MES] in-situ robuste, soulignant toutefois la nécessité d'échantillonnages réguliers pour intégrer la variabilité des particules en suspension.
2. Démontrer que les mesures de [MES] en berge rive gauche s'avèrent représentatives de l'ensemble de la section transversale.
3. De quantifier les flux solides. Ces derniers atteignent 1,1 Mt sur 2024-2025, en cohérence avec la littérature, dont 95% transitent lors des crues ( $>400 \text{ m}^3/\text{s}$ ).
4. De quantifier l'apport de la mesure haute fréquence pour quantifier les flux
5. Démontrer la pertinence de piéger les MES à l'aide de pièges Phillips pour caractériser la nature des particules constituant les flux sédimentaires.

# SCIENTIFIQUES AYANT PARTICIPES

- **Equipe 1 : CEREMA DtecREM - RHITME / Laboratoire M2C UMR 6143**
  - Jean Philippe Lemoine (Coordination)
  
- **Equipe 2 : Université de Rouen / Laboratoire M2C UMR 6143**
  - Jean-Marie Barrois
  - Yoann Copard
  - Maxime Debret
  - Julien Deloffre
  
- **Equipe 3 : Université de Rouen / Laboratoire COBRA UMR CNRS 6014**
  - Florence Koltalo
  
- **Equipe 4: Université de Bordeaux / Laboratoire EPOC UMR CNRS 5805**
  - Alexandra Coynel

# SOMMAIRE

Résumé executif .....	2
Scientifiques ayant participes.....	3
Introduction.....	5
Site d'étude, dispositifs de mesure, période étudiée.....	6
1. Poses : frontière fleuve/estuaire.....	6
2. Station automatisée YSI DB-600.....	7
3. Hydrologie de la période étudiée .....	8
4. Stratégie d'observation et protocoles .....	10
a. Les campagnes saisonnières.....	10
b. Mesures mensuelles .....	11
Résultats .....	12
1. Comparaison des courants mesurés à Vernon et à Poses.....	12
2. Représentativité spatiale des mesures .....	13
3. Corrélation turbidité concentration MES.....	15
4. Variabilité des [MES] en réponses aux variations du débit de la Seine .....	17
5. Flux solides.....	18
6. Nature des sédiments .....	20
a. Granulométrie .....	20
b. Matière organique et contamination chimique.....	22
Conclusion .....	23
Perspectives.....	24
Références .....	26

# INTRODUCTION

Le suivi des flux sédimentaires constitue un enjeu scientifique majeur dans le contexte actuel des changements globaux. Les modifications du régime hydrologique, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes liés aux changements climatiques, ainsi que l'intensification de la pression anthropique (e.g. aménagements du bassin versant, évolution des pratiques agricoles) induisent des modifications profondes des processus d'érosion et de transfert des sédiments, depuis les bassins versants jusqu'aux zones côtières. Ces transformations affectent les bilans sédimentaires, et par conséquent, la dynamique des milieux aquatiques, notamment la répartition et la stabilité des habitats. Par ailleurs, les flux sédimentaires constituent un vecteur majeur de transfert de carbone organique et des contaminants organiques et/ou métalliques au sein des bassins versants. Dans cette perspective, la quantification et l'analyse des flux sédimentaires apparaissent indispensables pour i/ quantifier la réponse des systèmes hydro-sédimentaires aux forçages climatiques et anthropiques, ii/ calibrer les modèles prédictifs de transport de sédiment et contaminants associés et iii/ anticiper les évolutions futures du continuum terre–mer. Le suivi des flux sédimentaires constitue ainsi une base scientifique essentielle à la mise en œuvre de stratégies d'adaptation et de gestion durable, en particulier dans des systèmes fortement anthropisés tels que le bassin de la Seine.

Dans le cadre du projet CPIER Vallée de Seine PHRESQUES (GIP Seine-Aval), une station de mesure automatisée a été déployée sur le site de Poses, à la limite amont de l'estuaire de la Seine. Le GIP Seine-Aval assure le pilotage technique de cette initiative, tandis que la société Dtek ([www.mesures-hydrologiques.fr](http://www.mesures-hydrologiques.fr)) a été chargée de la conception, de l'installation, du suivi métrologique et de la maintenance du dispositif. La station repose sur une bouée YSI DB600 équipée d'une sonde multi paramètres EXO2S, identique à celles du réseau SYNAPSES, positionnée à environ 400 mètres en amont du barrage de Poses, en rive gauche.

En accompagnement de cette instrumentation, le projet RePoses porté par le laboratoire M2C a pour objectif de fiabiliser l'acquisition de données pour pouvoir répondre aux problématiques suivantes :

- (i) De caractériser la représentativité spatiale des mesures effectuées par la station au droit du site, et
- (ii) D'établir une relation quantitative entre la turbidité (NTU) et la concentration en matières en suspension ([MES]), en vue d'estimer les flux sédimentaires et leur variabilité en réponse aux conditions hydrologiques,
- (iii) Initier le développement d'une méthodologie de piégeage et de caractérisation des sédiments (granulométrie, teneur en MO) et tester la possibilité d'évaluer les niveaux de contamination à partir des sédiments piégés.

# SITE D'ETUDE, DISPOSITIFS DE MESURE, PERIODE ETUDIEE

## 1. Poses : frontière fleuve/estuaire

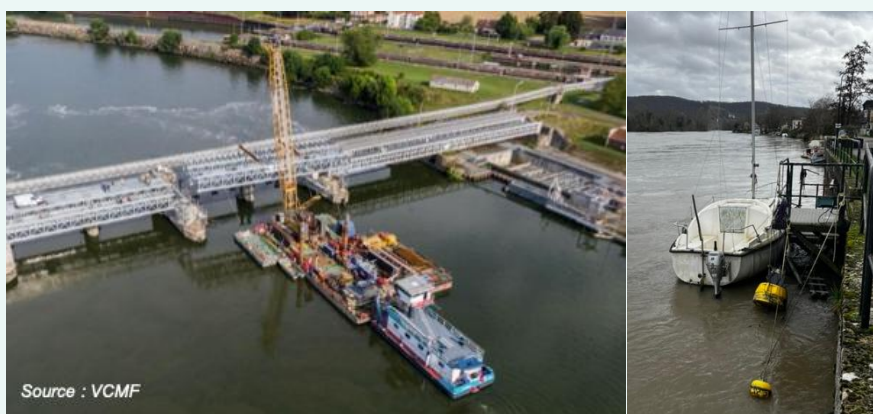
Le barrage de Poses matérialise la limite entre le fleuve Seine et son estuaire. En aval, les variations des niveaux d'eau et des courants sont soumises à l'influence de la marée, tandis qu'en amont, le débit fluvial constitue le principal facteur de contrôle. Le flux sédimentaire à Poses caractérise ainsi i) la résultante des phénomènes d'érosion/dépôts sur le bassin versant jusqu'à la limite aval du compartiment fluvial mais aussi ii) les principaux apports sédimentaires continentaux à l'estuaire (Landemaine, 2016). La connaissance de ce flux est essentielle pour appréhender le bilan sédimentaire de l'ensemble du système Seine.

Au droit de la station de mesure, la Seine se divise en deux bras : le bras principal, et un bras secondaire accueillant les écluses d'Amfreville-sous-les-Monts. Le bras principal s'écoule vers l'aval via le barrage de Poses, qui agit moins comme un barrage de retenue que comme un seuil de régulation, destiné à maintenir un niveau d'eau minimal en période d'étiage afin d'assurer la navigation à l'amont.

Le site de Poses se situe à environ 45 km en aval de la station hydrométrique de Vernon. Au niveau de Vernon, la Seine draine un bassin versant d'environ 64 600 km<sup>2</sup> contre 65 150 km<sup>2</sup> à Poses. Outre cette faible différence d'aire de drainage, seuls quatre petits affluents contribuent à l'alimentation de la Seine sur ce tronçon : le ruisseau de Saint-Ouen, le Ru du Canal, le ruisseau du Catenay et le Gambon, dont les débits moyens annuels demeurent inférieurs à 1 m<sup>3</sup>/s.

### 2020-2025 : Rénovation du barrage

Il est important de noter que le barrage de Poses a fait l'objet d'importants travaux de [rénovation](#) entre 2020 et 2025. Ces travaux et en particulier les manœuvres des différentes passes pour permettre les dragages et les poses d'enrochement à l'aval ont eu des répercussions importantes et non anticipées à la construction du projet RePoses. En particulier ces mouvements du barrage pour les travaux ont créé des périodes de calmes et de forts courants purement anthropiques et indépendantes de l'hydrologie du bassin versant. Sur place, nous avons constaté un battage du niveau pouvant quasiment atteindre le mètre.



*Figure 1.a : Illustration des travaux nécessitant des fermetures temporaires des passes ; b : niveau bas observé en crue en février 2026 avec la sonde suspendue à son amarrage*

## Gestion du barrage en crue

Le 23 février 2026, avec un débit proche de 1600 m<sup>3</sup>/s, le barrage était complètement ouvert pour permettre l'évacuation de la crue. Sur place, nous avons observé un niveau plus bas d'environ 60cm par rapport au niveau moyen. Dans ces conditions la bouée est en tension sur son amarrage au ponton et les capteurs ne sont plus immergés à la profondeur habituelle (Figure 1.b).

### 2. Station automatisée YSI DB-600

En novembre 2023, la société Dtek a installé une bouée de mesure automatisée de type YSI DB600, équipée de panneaux solaires et d'un automate de communication Campbell. Cette bouée héberge une sonde multi paramètres YSI EXO2S intégrant plusieurs capteurs : conductivité, température, fluorescence, oxygène dissous, nitrate (Nitraled) et turbidité. La mesure de turbidité est réalisée conformément à la norme ISO 7027, qui prescrit une méthode néphélométrique à 90° en lumière infrarouge (≈ 860 nm). L'ensemble des paramètres est mesuré avec une fréquence d'acquisition de 5 minutes.

La sonde est installée dans un tube crépiné, à environ un mètre sous la surface. Le dispositif est muni d'un balai automatique assurant le nettoyage des parties actives des capteurs selon un intervalle prédéfini (ici, toutes les 5 minutes). Cependant, la présence du tube crépiné et l'implantation en berge, en zone de faibles vitesses d'écoulement à l'arrière du voilier, favorisent la formation de dépôts biologiques de type biofilm sur les surfaces immergées (Figure 2).



Figure 2 : Photographies de la bouée DB600 et de la sonde YSI EXO2S – à noter l'important biofouling sur la bouée, sur la crépine et sur les capteurs observés en janvier 2026.

### 3. Hydrologie de la période étudiée

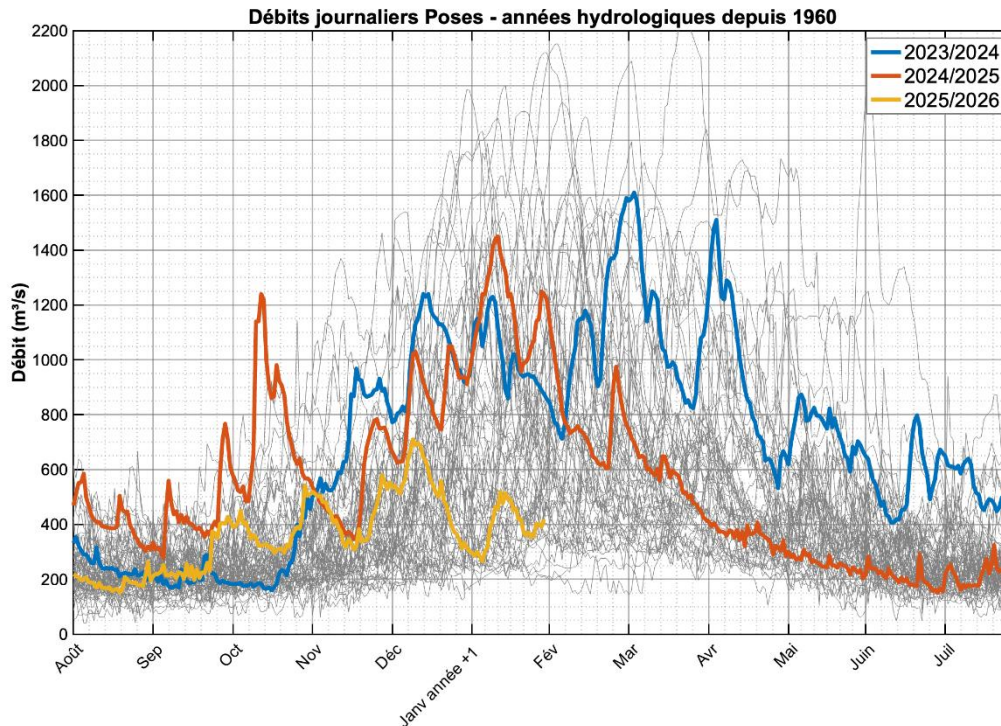


Figure 3 : Débit de la Seine à Vernon sur la période 1960-2025 avec les années hydrologique 2023/2024, 2024/2025 et 2025/2026 en couleur.

Les mesures réalisées dans le cadre du projet se sont déroulées dans un contexte hydrologique exceptionnellement soutenu, marqué par une année civile 2024 à fort débit moyen annuel ( $775 \text{ m}^3/\text{s}$ ), soit environ +75 % par rapport à la moyenne observée depuis 1940. Au-delà de cette valeur moyenne élevée, la période d'étude se distingue par l'absence de débit extrême (au-delà de  $1600 \text{ m}^3/\text{s}$ ), mais par la persistance d'une crue longue et continue, amorcée dès la fin de l'année 2023 (Figure 3). Le percentile 5 des débits de l'année civile 2024 ( $381 \text{ m}^3/\text{s}$ ) est ainsi le plus élevé de la période 1960-2025 (moyenne des p5  $186 \text{ m}^3/\text{s}$ ), soulignant le caractère durablement haut des débits.

À l'inverse, l'année 2025 présente des conditions hydrologiques proches de la normale, avec un débit moyen annuel de  $451 \text{ m}^3/\text{s}$ , comparable à la moyenne de long terme ( $\approx 460 \text{ m}^3/\text{s}$  depuis 1960). La période d'étiage s'est révélée longue et stable, s'étendant d'avril à octobre, avec des débits alignés sur les valeurs habituelles d'étiage (moyenne des p5  $186 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

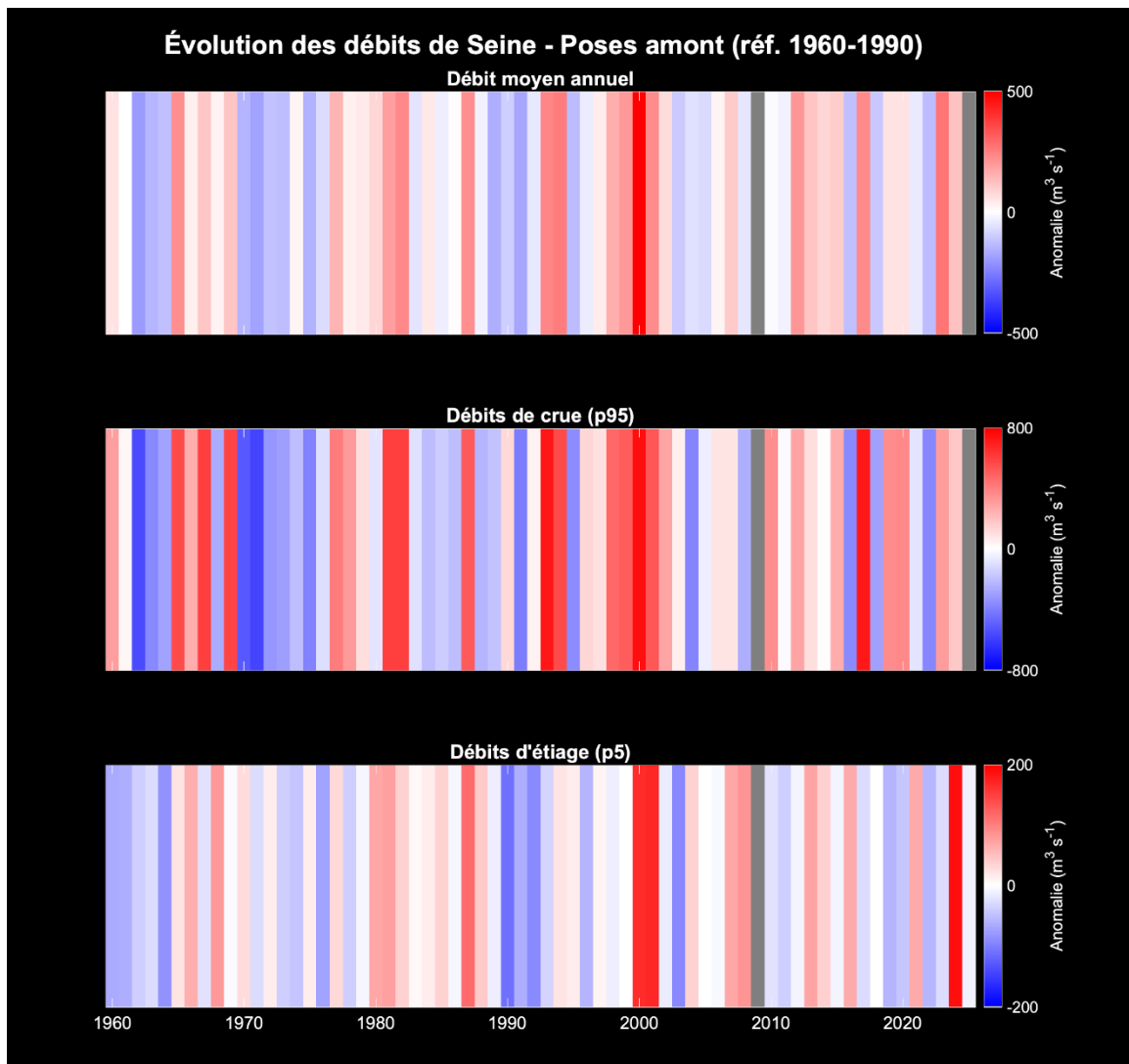


Figure 4 : "Warming Stripes" d'indicateurs hydrologiques des débits journaliers à Poses amont (Seine, 1960-2025, adapté, d'après Hawkins, 2018) : débit moyen annuel (année hydro du 1er août-31 juillet), débits de crue (percentile 95 des débits sur une année hydrologique), débits d'étiage (percentile 5 des débits sur une année civile). Anomalies calculées par rapport à la période de référence standard 1960-1990.

La figure 4 illustre les variations relatives des débits à Vernon par rapport à la période 1960-1990 considérée comme une référence. En raison des différents aménagements sur le bassin versants, et en particulier de l'aménagement des lacs réservoirs, des différents barrages durant la période considérée comme référence, cette figure permet uniquement de mettre en avant les spécificités des années sans chercher à les associer aux changements climatiques.

## 4. Stratégie d'observation et protocoles

Le projet RePoses est principalement un projet de suivi *in-situ*. Il s'articule autour de deux types de campagnes :

- i. Les campagnes de mesures saisonnières en bateau dont l'objectif est d'établir les variabilités spatiales (au droit de la station) et temporelles (selon les saisons) des [MES].
- ii. Les campagnes de prélèvement mensuelle en berge visant à caractériser la relation NTU/MES et à tester les capacités de qualifications des [MES].

La temporalité des campagnes de mesures saisonnières en bateau et les campagnes de prélèvements sont représentées figure 8.

### a. Les campagnes saisonnières

Les campagnes saisonnières étaient articulées autour de la mesure ADCP, mais un certain nombre de pannes et de problèmes de disponibilités du matériel nous ont contraint à revoir le protocole initial.

Initialement, les campagnes devaient être réalisées avec un ADCP Teledyne RDI StreamPro, il est apparu que la portée de ce dernier n'était pas suffisante pour travailler à Poses. Nous avons ensuite rencontré un problème de compas avec un ADCP de type SONTEK M9. Un autre Sontek M9 a donc été emprunté à l'unité hydrométrie de la DREAL Normandie pour les deux premières campagnes. Les ADCP Sontek ne sauvegardent pas l'intensité du signal rétrodiffusé et ne sont donc pas utilisables pour étudier la variabilité des concentrations en MES. Pour les deux dernières campagnes, des ADCP Teledyne RDI de type RiverPro 1200 kHz et RiverRay 600 kHz ont été empruntés à l'unité RISOM du Cerema.

Lors de la première campagne, des profils verticaux ont été réalisés avec une sonde YSI EXO2 utilisée sur le réseau SYNAPSES. Malgré l'utilisation de la fréquence d'échantillonnage maximale de la sonde à 4Hz, le temps de réponse de la sonde ne permet pas de caractériser les gradients verticaux. L'analyse des données notamment de turbidité et de température montre que contrairement à la pression ces données semblent être traitées par la sonde avec une moyenne mobile qui génère un déphasage entre les paramètres. Nous observons notamment des différences dans les profils montant et descendant que nous ne pouvons pas expliquer. La documentation récente [YSI, 2024](#) spécifient que le T63 du capteur de turbidité EXO est de l'ordre de 2s : il n'est donc effectivement pas adapté pour profiler. (Le temps T63 correspond au temps nécessaire pour que le capteur mesure 63 % de la différence à mesurer). Ni nous, ni le revendeur YSI n'avions connaissance de ce temps de réponse.

Face à ces difficultés, nous avons décidé dès la première campagne de prioriser la prise d'échantillons d'eau à la bouteille Niskin. Des prélèvements sont ainsi réalisés systématiquement en 5 points de la section de la rive droite à la rive gauche et à 3 profondeurs (1m au-dessus du fond, mi profondeur, 1m sous la surface).

En raison de ces difficultés « métrologiques », des conditions de navigations dangereuses à l'amont immédiat du barrage, des travaux sur le barrage (et de leurs effets sur le niveau d'eau et la stabilité des flux à Poses), et surtout de la stabilité des [MES] à travers la section (voir partie résultats), les campagnes saisonnières n'ont été réalisées qu'une fois par saison soit 4 campagnes contrairement aux 8 campagnes prévues initialement. Pour ces mêmes raisons,

les données de rétrodiffusion acoustiques mesurées par ADCP n'ont pas été mobilisées pour évaluer la variabilité spatiale des concentrations en MES.

#### b. Mesures mensuelles

Des campagnes de mesures en berges mensuelles étaient prévues pour établir une relation solide entre les mesures de turbidité et la variabilité saisonnière des conditions hydro sédimentaires. En lien avec le moindre nombre de campagnes trimestrielles, la fréquence des visites sur site a été augmentée, notamment durant les forts débits (42 missions au total).

Lors de celles-ci, nous avons systématiquement prélevé 3 échantillons d'eau de 2l distincts à la bouteille Niskin à environ 1m de profondeur. Ces échantillons ont été ensuite filtrés et pesés au laboratoire (protocole établi par Druine 2018). **Les résultats présentés par la suite correspondent aux moyennes des triplicats.** Un préleveur de type ISCO a également été testé sur site pour être utilisé en cas d'évènement extrême (non rencontré dans la durée du projet).

Les pièges à sédiment (Phillips, 2000) utilisés avec succès par Gardes (2020) dans l'Eure, ont été testés en Seine. L'utilisation de ces pièges dans un milieu dynamique est particulièrement intéressant car ces derniers permettent un prélèvement de sédiment continu et donc intégratif des variabilités du milieu. Ils ont été déployés et relevés à une fréquence mensuelle dès le début du projet (février 2024). Durant l'été 2025, les quantités piégées étaient insuffisantes pour constituer des échantillons analysables. 13 échantillons de sédiment piégés ont pu être analysés. Les 8 autres échantillons seront analysés ultérieurement. Les premières analyses ont porté sur la granulométrie, la teneur en carbone organique particulaire (COP, pyrolyse Rock-Eval 6), et la quantification de certains contaminants organiques et métalliques.

En début de projet une sonde YSI EXO2 fournie par le GIP Seine-Aval et habituellement utilisée par Haropa Rouen a été déployée et les mesures réalisées par cette dernière ont été comparées à celle réalisée sur la bouée DB600. Ces mesures n'ont révélé aucune anomalie (Annexe 1).

# RESULTATS

## 1. Comparaison des courants mesurés à Vernon et à Poses

Malgré l'utilisation de trois modèles d'ADCP différents, les 4 jaugeages ont été analysés avec le logiciel QRevInt en appliquant des hypothèses de calcul identiques, notamment pour les extrapolations. Ces derniers montrent que pour les faibles débits, en particulier lors de la campagne de septembre 2024, la moyenne des débits mesurés à Vernon était de  $381 \text{ m}^3/\text{s}$ , tandis que celle des mesures réalisées à Poses était de  $253 \text{ m}^3/\text{s}$ . Cet écart de 33 % est significatif. Néanmoins, comme mentionné précédemment, il est possible que, durant cette campagne, les débits mesurés à Poses aient été influencés par les manœuvres du barrage. À l'inverse, en janvier 2025, un débit de  $1080 \text{ m}^3/\text{s}$  a été mesuré à Poses (Figure 5), en bon accord (+6 %) avec celui de Vernon ( $1020 \text{ m}^3/\text{s}$ ) mesuré à Vernon par la DRIEAT. Pour les débits proches du débit moyen de la Seine, nos mesures à Poses (11 juin 2024 et 29 avril 2025) sont en accord avec les débits mesurés à Vernon (carrés bleus figure 8). Les deux autres jaugeages présentent des mesures cohérentes avec celles de Vernon.

Toutefois, ces observations réalisées dans un contexte particulier lié aux travaux ne permettent ni de valider ni de remettre en cause l'hypothèse couramment utilisée selon laquelle les débits mesurés à Vernon sont utilisables à Poses.

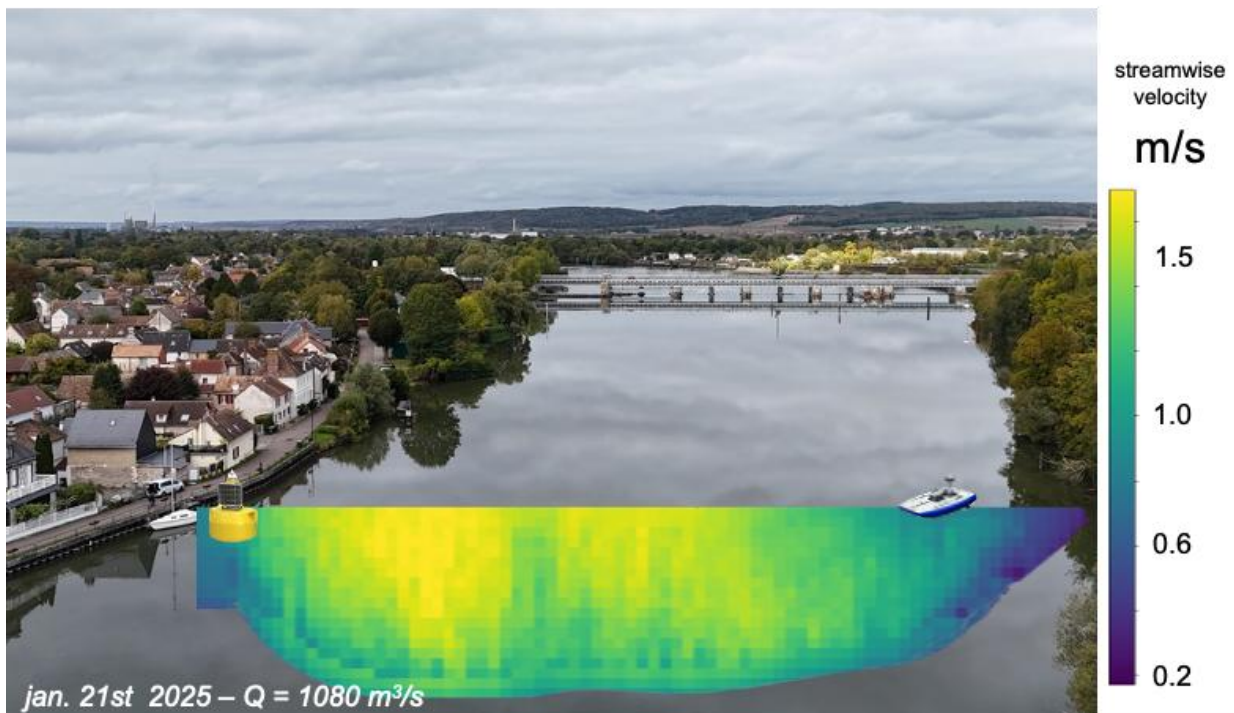


Figure 5 : Illustration des mesures de courants réalisées et de la présence de travaux sur la seconde passe en partant de la gauche au moment de la photo (non synchronisée avec la mesure ADCP)

## 2. Représentativité spatiale des mesures de concentration en MES

La représentativité des mesures réalisées en berge rive gauche a été évaluée en comparant directement les [MES] sur des échantillons prélevés au niveau de la station et en 15 points de la section (Figure 6 - 5 points en transversal à 3 profondeurs – cf. § précédent). Les profondeurs de prélèvement étaient ajustées en direct grâce au sondeur du bateau.

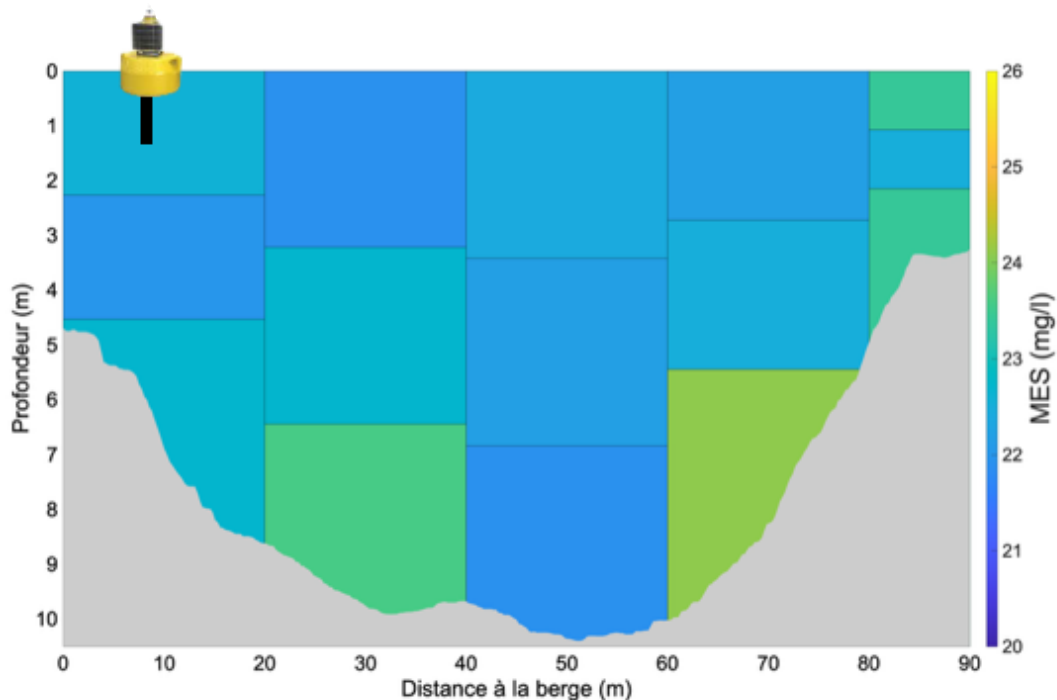


Figure 6 : Variabilité des concentrations en MES (mg/l) observée lors de la campagne de janvier 2025.

Ce suivi réalisé à 4 reprises entre juin 2024 et Avril 2025, montre que les écarts entre les concentrations moyennes au sein de la section sont du même ordre de grandeur que les écarts constatés au sein des triplicats prélevés en berge (Tableau 1).

Par ailleurs les concentrations mesurées au sein de la section sont également cohérentes entre elles, avec des écarts également comparables aux écarts constatés au sein des triplicats de mesures faites en berge (Figure 6 et Tableau 1).

Tableau 1 : Comparaison des concentrations en MES mesurées en berge et au droit de la station de mesures

	débit à Vernon (m <sup>3</sup> /s)	MES moyen station (mg/l)	ecart type station (mg/l)	MES moyen section (mg/l)	ecart type section (mg/l)
été 11/06/2024	484,0	15,5	1,0	15,5	2,7
automne 17/09/2024	381,0	8,9	1,6	9,7	1,6
hiver 21/01/2025	1020,0	24,9	2,9	22,9	1,1
printemps 29/04/2025	333,0	9,5	0,6	8,1	0,9

Durant la campagne de septembre 2024 (débit proche du module et [MES] moyenne = 9.7 mg/l) des profils granulométriques verticaux ont été mesurés avec un granulomètre laser submersible à 36 classes LISST-200X (Sequoia Scientific). Les spectres ont été traités par inversion selon le modèle "irregular shape" adapté aux particules naturelles non-sphériques en eau douce turbide (eau de Seine, charge en sédiments <100 mg/L, dominance limons/sables fins). Les diamètres médians  $D_{50}$  ont été extraits sur chaque profil descendant, moyennés par tranches de 1m (seulement si  $\geq 5$  mesures). Les traits verticaux indiquent l'étendue min-max ; les pointillés marquent les bornes des classes du LISST 200X (Figure 7).

Les profils verticaux montrent une faible augmentation du diamètre médian selon la profondeur. Cette dernière est toutefois du même ordre de grandeur que la largeur des classes granulométriques. Les 5 profils ne présentent pas d'hétérogénéité notable.

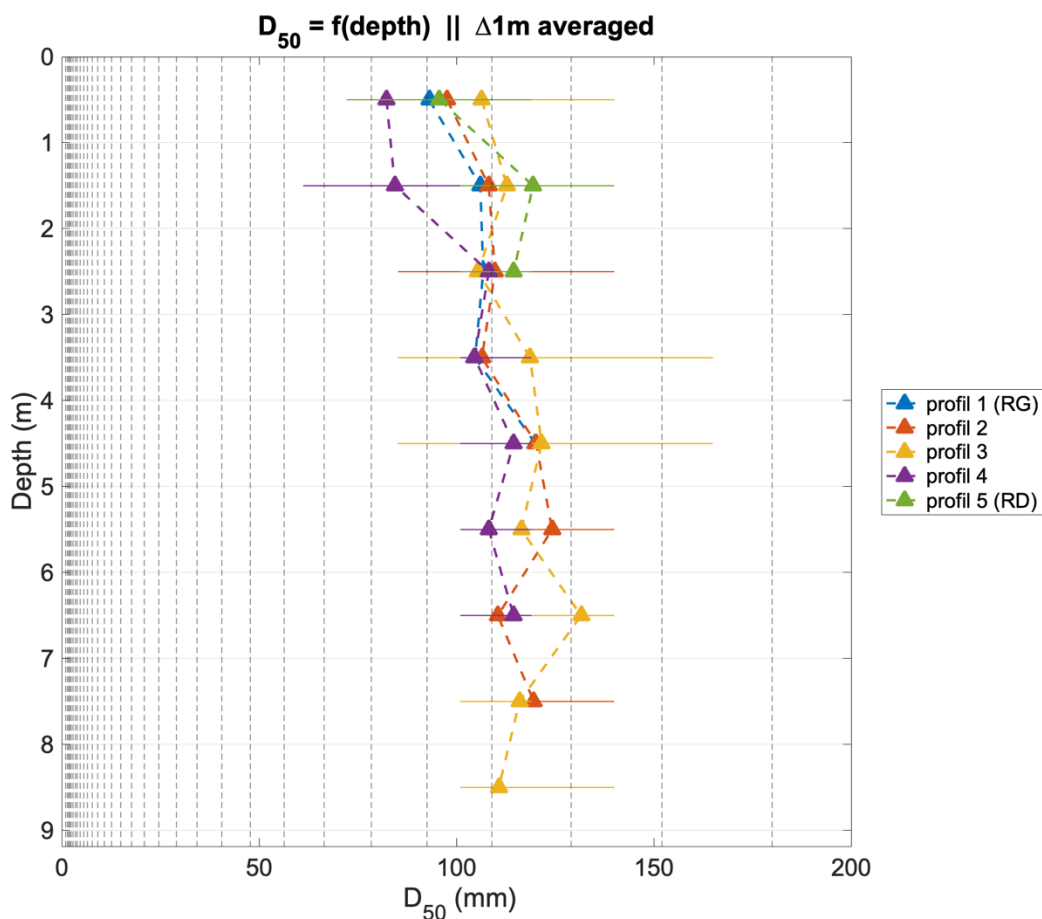


Figure 7 : Profils verticaux des diamètres médians  $D_{50}$  moyen par tranche de 1m (LISST-200X, inversion irregular shape) le long de la section transversale au 5 stations de prélèvements durant la campagne de septembre 2024 (cf. Figure 6). Les traits horizontaux représentent la variabilité les  $D_{50}$  minimaux et maximaux observés par tranche de 1m.

Dans l'ensemble, malgré le contexte hydrodynamique perturbé par les travaux sur le barrage, les campagnes saisonnières réalisées en bateau dans le cadre du projet ne montrent pas de variabilité significative à l'échelle de la section de la Seine où est installée la sonde.

### 3. Corrélation turbidité concentration MES

La sonde YSI EXO2 a mesuré la turbidité pendant toute la période du projet, avec une unique interruption de plusieurs jours en octobre 2025. Les interventions de maintenance réalisées par la société Dtek n'ont pas mis en évidence de dérive importante des mesures durant la période, à l'exception de l'intervention de janvier 2025. Néanmoins, la superposition des mesures de turbidités avec les interventions (triangles noirs Figure 8) sur site met en avant l'effet des interventions sur les mesures, avec notamment des évolutions des valeurs moyennes ou des apparitions/disparitions de bruit non attribuables aux dynamiques naturelles. C'est notamment le cas du premier trimestre 2025 dont les mesures de turbidités semblent très faibles par rapport aux valeurs observées dans des conditions similaires en 2024.

Les échantillonnages réalisés sur site ont permis de couvrir les variations de débit et de turbidité observées durant la période du projet (triangles rouges Figure 8) jusqu'à des valeurs de l'ordre de 100 mg/l.

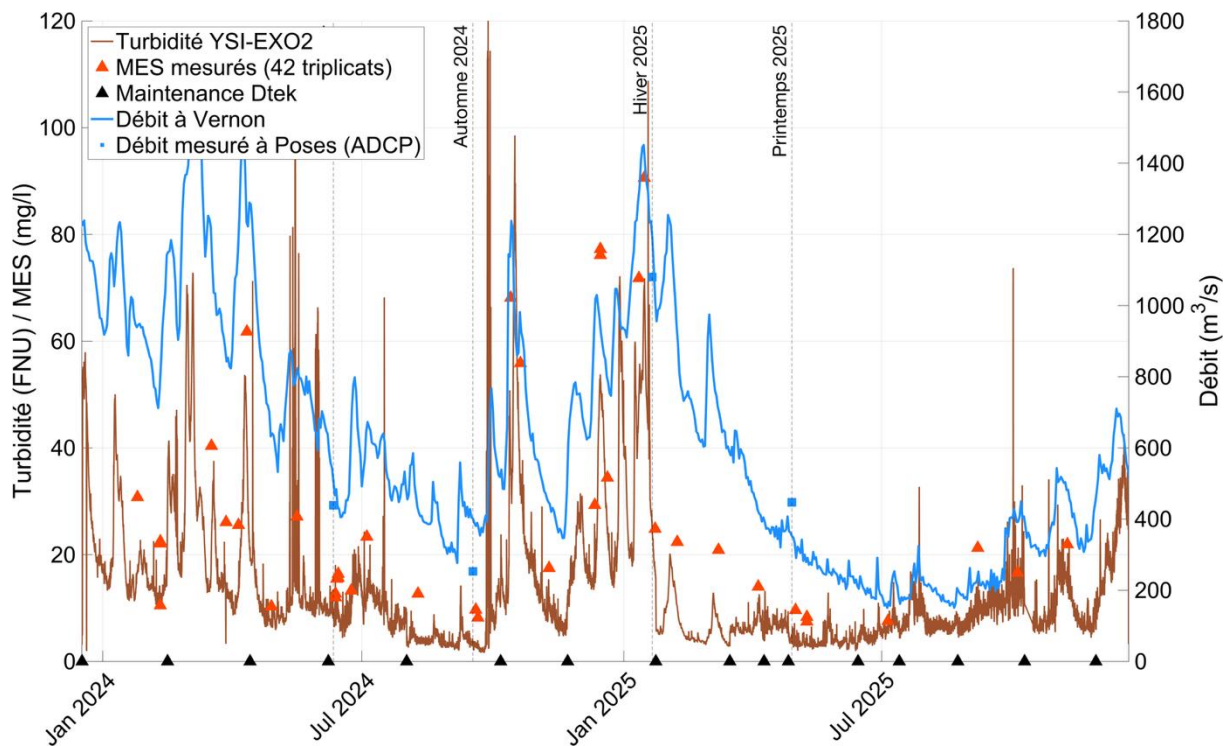
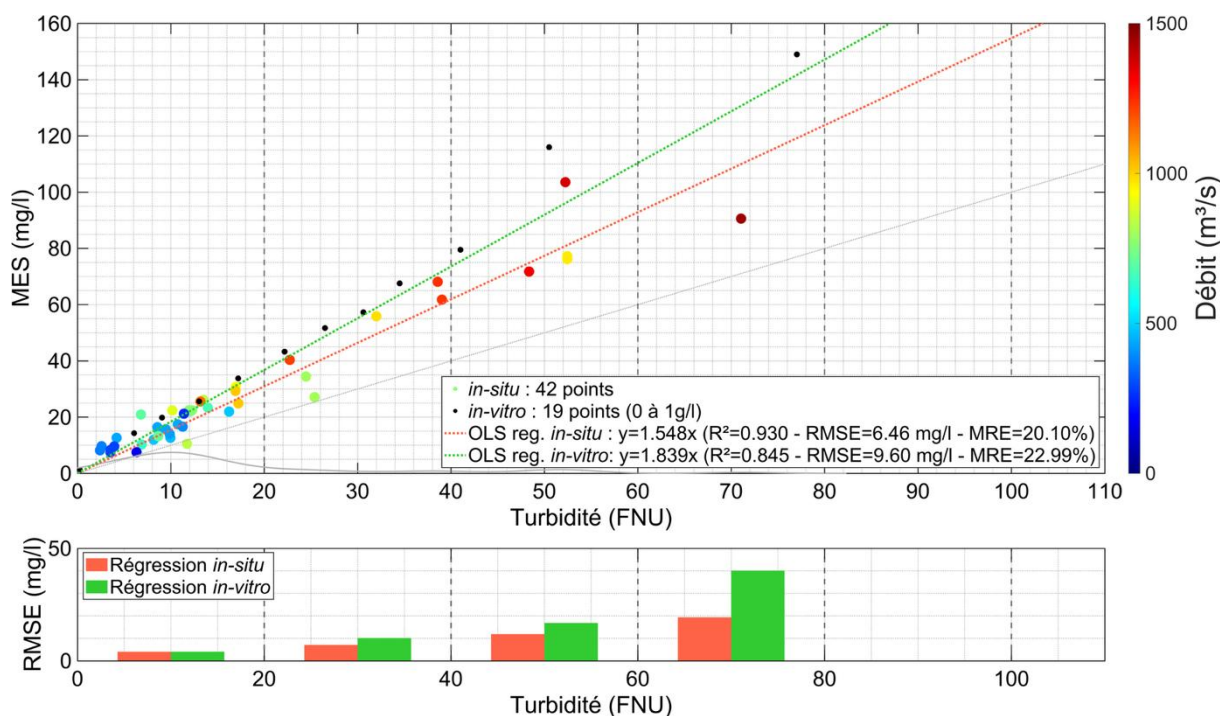


Figure 8 : Séries chronologiques de turbidité mesurée à Poses, débit mesuré à Vernon, intervention de maintenance et prélèvements sur site sur la période suivie : Janvier 2024 – Décembre 2025

La mise en regard des données de turbidités *in-situ* avec les concentrations en MES issues de la filtration des triplicats de prélèvements met en avant la corrélation attendue entre ces deux paramètres. Cette corrélation est forte et ne laisse pas apparaître d'outliers. Nous proposons ainsi de déterminer la relation linéaire entre les variable turbidité et concentration en MES par la méthode des moindres carrés ordinaires (Ordinary Least Square *in-situ* sur la figure 9) sans ordonnée à l'origine. La corrélation est très bonne  $R^2= 0.96$ , avec RMSE = 6.4 mg/l sur l'ensemble de la gamme observée. L'erreur relative moyenne (MRE) permet de relativiser cette erreur dans les calculs de flux. Cette erreur est acceptable dans le cadre de ce type de mesures : 20%.



**Figure 9 : Relations entre les concentrations en MES et la turbidité déterminées *in-situ* et *in-vitro* et évolution de l'erreur quadratique moyenne selon différentes classes de turbidité.**

Le turbidimètre YSI a été calibré *in-vitro* avec des sédiments piégés en mai 2025 (faible débit) dans le piège à sédiment « type OSR » (Masson et al., 2021). Cette calibration a été faite en injectant le sédiment progressivement dans une cuve jusqu'à atteindre 1g/l. La corrélation obtenue (OLS également), affichée en pointillé vert est excellente  $R^2=0.998$  (non affiché sur le graphique).

L'application de cette régression aux données de turbidité observées *in-situ* semble toutefois moins performante que la corrélation déterminée *in-situ*. En effet, les valeurs de  $R^2$ , RMSE, et MRE sont moins bonnes (Figure 9). La comparaison des performances des deux régressions sur la base du RMSE pour les 4 classes de turbidité observées, montre que les RMSE sont comparables pour la gamme 0-20 NTU, en revanche plus les concentrations augmentent, plus le RMSE "*in-vitro*" augmente par rapport à celui "*in-situ*" (partie inférieure de la Figure 9). Cette augmentation théorique doit toutefois être relativisée en raison du faible nombre de points observés pour des turbidités supérieures à 20 FNU. Globalement ces résultats sont cohérents avec ceux de Druine et al. 2018.

Le résultat de cette comparaison, et en particulier l'écart de quasi 20% entre les deux coefficients de calibration souligne la nécessité de procéder à des échantillonnages réguliers afin de prendre en compte implicitement ou explicitement (cf. Druine, 2018) la variabilité des caractéristiques des particules en suspension.

*Cette expérimentation est décrite et discutée plus en détail dans le rapport du projet MeSeine Inneauvation TurbiSeine (Lemoine, 2025).*

#### 4. Variabilité des [MES] en réponses aux variations du débit de la Seine

La variabilité des [MES] aux débits de Seine a été étudiée dans le passé notamment par Avoine (1981), Guezennec (1999) ou encore Landemaine (2016). L'existence de plusieurs régimes a par exemple été illustré par Guezennec (Figure 10).

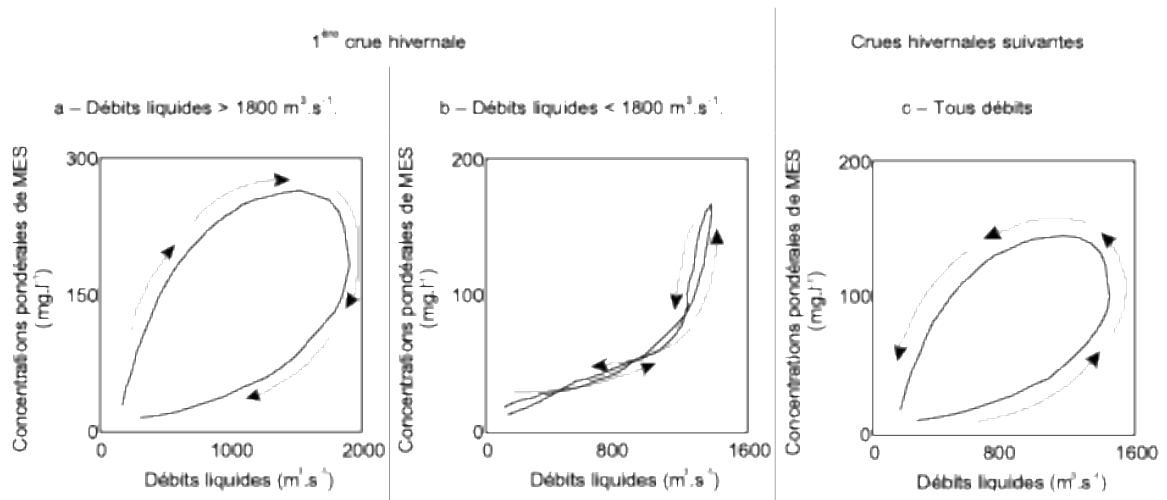
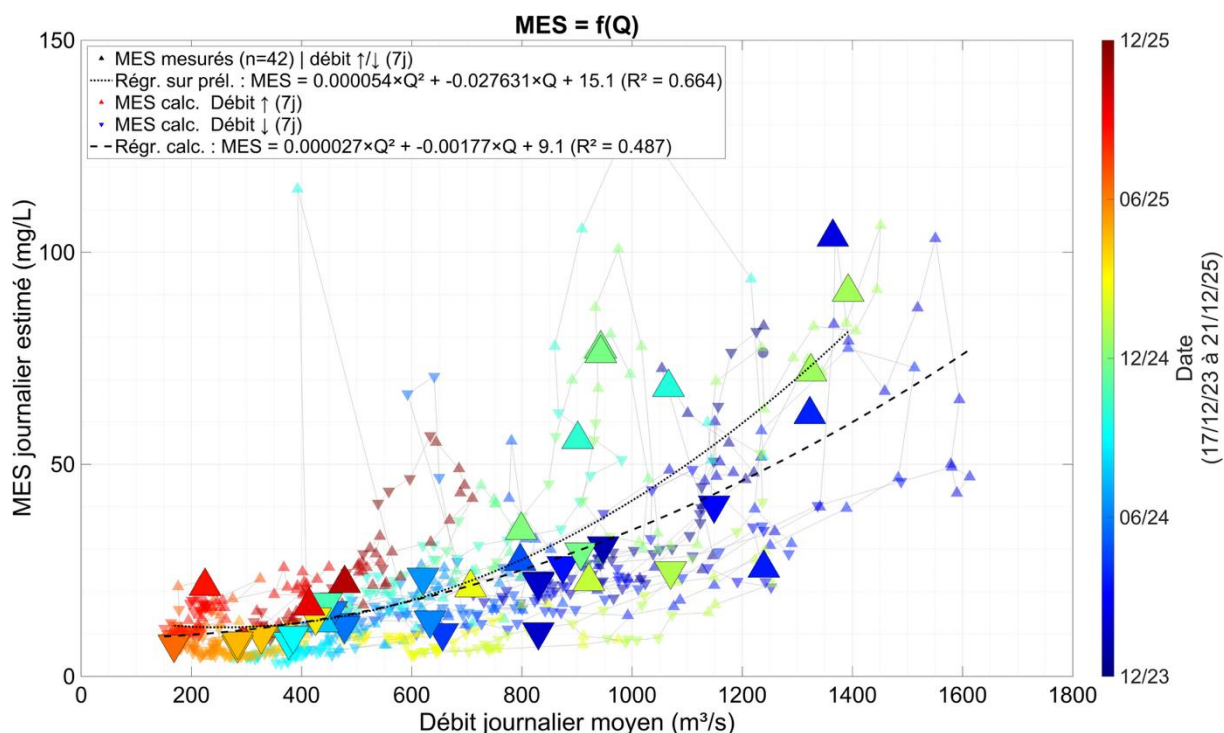


Figure 10 : Relation charge solide/débit liquide au barrage de Poses – pk 202,00, pour (a) la 1<sup>ère</sup> crue de 1996-1997 et (b) la 2<sup>de</sup> crue de 1996-1997 (extrait de Guezennec 1999)

A ce stade, notre analyse des mesures réalisées entre 2024 et 2025 ne met pas en avant ce type de comportement entre les variables débits et [MES] (Figure 11). Plusieurs tests non concluants ont été réalisés, et il est supposé que le contexte hydrologique particulier de l'année 2024 (début des mesures sous des conditions de forts débits, à la suite d'un premier pic de crue de 1 200 m<sup>3</sup>/s, sans événement de crue majeure ni véritable phase de décrue) n'a pas permis d'identifier clairement ces régimes.



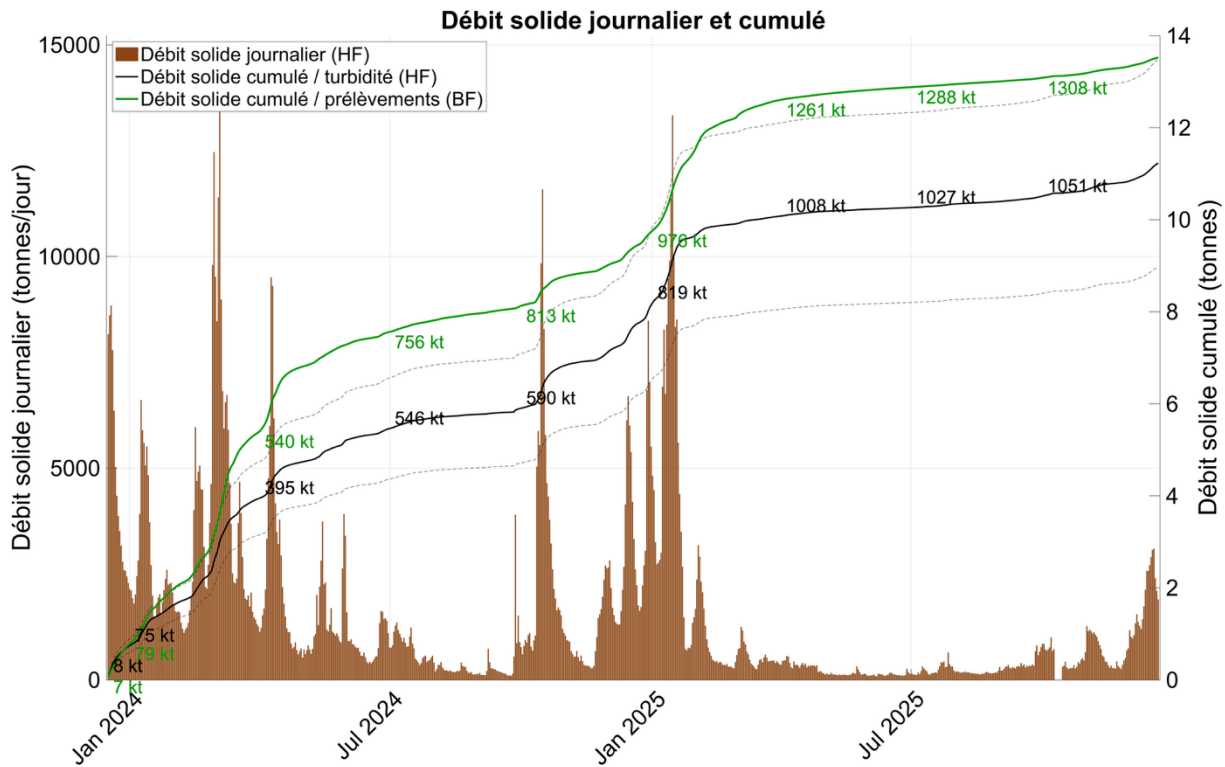
**Figure 11 : Relation charge solide/débit liquide au barrage de Poses entre décembre 2023 et décembre 2025.**

Nous avons toutefois fait l'exercice de définir des relations entre le débit journalier et la concentration en MES prélevée le jour J et aussi la moyenne journalière des concentrations en MES déduites de la turbidité par la calibration *in-situ* (Figure 9). L'application assumée de cette relation incertaine permet de quantifier l'écart entre les flux solides déterminés avec et sans mesure haute fréquence.

## 5. Flux solides

L'application de la corrélation  $MES = 1.548 \times Turbidité$  (Figure 9) aux séries temporelles de débits et turbidités permet de quantifier le flux sédimentaire à la fréquence des mesures de turbidités  $Q_{Shf}$  (courbe noire). Les courbes pointillées représentent la prise en compte de l'erreur relative moyenne aux débits solides calculés (*i.e.* en utilisant une concentration en MES à +/-20.1% - Figure 9).

$$Q_{Shf} = 1.548 \times Turbi \times Q_{Vernon}$$



**Figure 12 : Débits solides journaliers calculés à partir des données de turbidité seules (trait noir lignes pointillés +/- MRE), à partir des prélèvements et de la relation mise en avant Figure 11 pour la période de suivi.**

En 2024 et 2025, les flux solides cumulés sont estimés à 819 et 303 kt respectivement en cohérence avec les estimations moyennes annuelles de 400 et 500 kt par Guezennec 1999 et Landemaine 2016. Les concentrations en MES étant quadratiquement proportionnelles au débit, les débits solides peuvent dépasser les 10 000 t/jour en crue contre quelques centaines de tonnes par jour en étiage.

En cohérence avec Guezennec, 1999, nous observons ainsi que 95% du débit solide observé en 2024-2025 s’est produit lorsque les débits liquides étaient supérieurs à 400 m<sup>3</sup>/s (90% dans Guezennec 1999). Ceci souligne la nécessité d’avoir des suivis haute fréquence y compris en milieu fluvial.

L’application de l’équation polynomiale reliant les concentrations de MES mesurées sur les prélèvements aux débits (Figure 11) permet également de calculer un débit solide journalier moyen  $Q_{Sbf}$  (courbe verte, Figure 12) sans utiliser les données de turbidité.

$$Q_{Sbf} = (0.000054 \times Q_{Vernon}^2 - 0.027631 \times Q_{Vernon} + 15.1) \times Q_{Vernon}$$

Avec  $Q_{Sbf}$  en 10<sup>3</sup> mg/s et  $Q_{Vernon}$  en m<sup>3</sup>/s

Le cumul de  $Q_{Sbf}$  sur la période 2024-2025 est de 1.352 Mt soit une surestimation de 20.4 % du flux solide relativement à la quantification réalisée à partir de la mesure de turbidité. Cette différence est cohérente avec les différences entre les deux corrélations mises en avant Figure 11, la corrélation [MES] = f(Q) est en effet supérieure dans le cas où elle est calculée sur la base des prélèvements. Ceci explique ainsi les apports plus importants (divergence des deux courbes) calculés pour les débits élevés avec la relation  $Q_{Sbf}$ . Cette surestimation est comparable à celle observée par Guezennec, 1999, qui compare les flux solides estimés à

partir du débit à ceux estimés à l'aide des mesures de turbidité du Service Navigation de la Seine (SNS). (à noter que dans Guezennec 1999, la relation turbidité [MES] utilisée sur les sondes YSI du SNS n'est pas précisée). Cette surestimation est par ailleurs comparable avec le MRE de 20% estimé sur la corrélation NTU/[MES] (Figure 9) et visible en pointillés noirs (Figure 12).

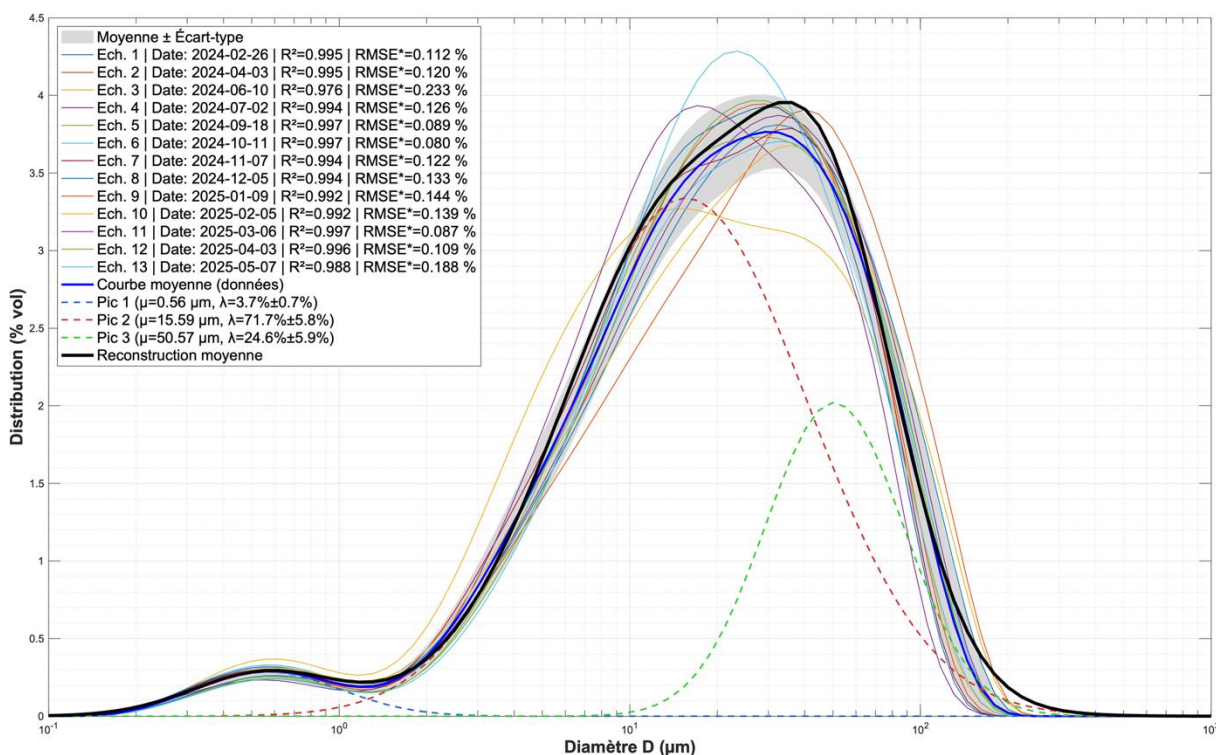
*Il est intéressant de garder à l'esprit que les modélisations numériques (e.g. Grasso et al. 2018, Lemoine et al. 2021) considèrent des flux solides déterminés à partir de relations semblables à celles de  $Q_{Sbf}$  (2) et donc a priori des apports sédimentaires continentaux surestimés.*

## 6. Nature des sédiments

Les sédiments piégés dans les dispositifs Phillips ont été collectés mensuellement depuis février 2024. Les prélèvements ont été centrifugés afin de retirer l'excédent d'eau avant les analyses granulométriques, puis lyophilisés et broyés avant les analyses chimiques. Lors de la rédaction du rapport, 13 échantillons présentaient des quantités suffisantes pour être analysés.

### Granulométrie

La distribution granulométrique des échantillons piégés a été déterminée à l'aide du granulomètre FRITSCH ANALYSETTE 22 NeXT Nano (M2C Caen) selon 120 classes de diamètre de 0,006 à 3600  $\mu\text{m}$ . Les 13 spectres sont cohérents et stables durant la période échantillonnée et analysée ici (février 2024 – Juillet 2025). Selon la figure 13, deux modes ressortent : un mode stable sur tous les échantillons à 0.5  $\mu\text{m}$  et un mode moins bien trié à 30  $\mu\text{m}$ .



**Figure 13 : Granulométrie des sédiments collectés dans les pièges de type Phillips entre janvier 2024 et mai 2025 (courbes pleines colorées). Les dates indiquées correspondent aux treize campagnes de relevés. La courbe moyenne (en bleu) a fait l'objet d'une décomposition en trois modes granulométriques (courbes pointillées bleue, rouge et verte) réalisée à l'aide**

du logiciel Peakfit. Les valeurs de  $R^2$  et de RMSE indiquées en légende décrivent la qualité de la recombinaison selon ces trois modes. La RMSE\* est calculée sur l'intervalle 0,10–276  $\mu\text{m}$ , correspondant à la plage granulométrique couverte par les trois modes identifiés. La courbe noire épaisse correspond à la moyenne des reconstructions, illustrant le biais induit par la décomposition en modes.

Afin d'évaluer la possibilité de caractériser ces spectres, une première décomposition en modes distincts a été réalisée en utilisant le package matlab peakfit (O'Haver, 2009 - Version 9.91: October 2025).

La décomposition débute par un ajustement non-supervisé (50 itérations) du spectre granulométrique moyen selon un nombre de modes  $k$  que nous avons fixé successivement à 2, 3 et 4. La décomposition en 3 modes donne les meilleurs résultats. Trois modes sont identifiés :

- Mode 1 ( $\mu_1 = 0,56 \mu\text{m}$ ,  $\sigma_1 = 0,252$ ,  $\lambda_1 = 3,4 \pm 1,2 \%$ ) : Fraction ultra-fine (argiles/limons très fins) quasi-constante (entre 2,7% et 5,1 % du volume total), dispersivité étroite : 0,3–1,0  $\mu\text{m}$ .
- Mode 2 ( $\mu_2 = 15,6 \mu\text{m}$ ,  $\sigma_2 = 0,418$ ,  $\lambda_2 = 66,5 \pm 20,0 \%$ ) : Population dominante limono-silteuse fine (entre 59,7% et 81,9 % du volume total), dispersivité étendue : 6–41  $\mu\text{m}$ .
- Mode 3 ( $\mu_3 = 50,6 \mu\text{m}$ ,  $\sigma_3 = 0,238$ ,  $\lambda_3 = 22,9 \pm 8,7 \%$ ) : Fraction silteuse (entre 14,5% et 36,2 % du volume total), dispersivité : 32–80  $\mu\text{m}$ .

Ces trois modes expliquent 93 % du volume sédimentaire total, ne laissant que 7 % de résidus (queues asymptotiques, bruit instrumental, asymétries locales).

Ces paramètres géométriques sont ensuite figés ( $\mu_k$  et  $\sigma_{\log_{10}-\mu_k}$ ) et appliqués itérativement à chacun des 13 spectres individuels, n'autorisant que la variation des poids relatifs  $\lambda_k$ . Cette méthode à trois gaussiennes définies sur la granulométrie moyenne permet de reproduire de manière satisfaisante les 13 échantillons avec un coefficient de détermination moyen  $R^2 = 0,993$  (médiane 0,994, plage 0,988–0,997), expliquant 99,3% de la variance totale des 13 distributions sur l'ensemble des 120 classes diam étriques (0,006–3607  $\mu\text{m}$ ). L'erreur quadratique moyenne globale RMSE = 2,70% vol reflète l'écart typique sur l'ensemble du spectre, incluant les classes périphériques à faible signal (< 0,01% vol).

Sur l'emprise des trois modes (75 classes, 62,5% du spectre de mesure, plage [0,10–276]  $\mu\text{m}$  couvrant 93% du volume sédimentaire), la RMSE\* moyenne est de seulement 0,127% vol (plage 0,080–0,233% vol), soit une erreur relative de seulement 3,2% par rapport aux pics culminant à ~4% vol/classe. Cette précision sur les populations granulométriques valide pleinement la robustesse de la décomposition proposée.

Cette exploration méthodologique mérite d'être poursuivie afin de comparer la granulométrie des particules piégées avec celle des particules en transit dans la Seine. En effet, la bibliographie est assez univoque sur le sujet : les pièges sous-échantillonnent les fines au profit des particules plus grossières. McDonald et al. (2010) montrent par exemple que les échantillons piégés contiennent 2 fois plus de particules de taille > 62.5  $\mu\text{m}$  que les particules transitant dans le milieu. Toutefois, les premières analyses issues du LISST-200X suggèrent la présence de floes ou d'agrégats de particules dans le milieu. Ces derniers pourraient être favorable au piégeage des fractions fines dans le piège Phillips (Phillips et al. 2000). Cette problématique est connue et a d'ailleurs été étudiée pour d'autres systèmes de piégeage, tels que les Sedimentation Box ou les Pièges à Particules utilisés dans le cadre de l'Observatoire des Sédiments du Rhône et du projet TARANIS (e.g. Masson et al., 2018).

## Matière organique et contamination chimique

La teneur en carbone organique total (TOC) a été mesurée par pyrolyse Rock-Eval 6 (modèle Turbo, IStEP, Paris) selon la méthode décrite par Baudin et al. (2015). Les valeurs de TOC sont exprimées en pourcentage de masse sèche.

Les 16 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) prioritaires (US EPA, 2015) et les polychlorobiphényles (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB153 et PCB 180) ont été extraits par extraction assistée par micro-ondes, puis analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (MAE-GC-MS).

Les éléments traces métalliques (incluant le chrome (Cr), le nickel (Ni), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), l'arsenic (As), l'argent (Ag), le cadmium (Cd), l'étain (Sn), l'antimoine (Sb) et le plomb (Pb) ont été extraits par digestion totale, puis analysés par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS).

En raison des incertitudes non quantifiées concernant la représentativité des sédiments collectés dans les pièges Phillips (§ précédent), il n'est pas possible de transposer directement les teneurs POC, PCB, HAP et contaminants métalliques aux flux annuels totaux de ces composés à Poses. En effet, ces teneurs sont fortement corrélées à la granulométrie des particules, or l'estimation a priori biaisée de cette dernière doit induire un biais potentiellement important entre les concentrations mesurées dans les pièges et celles théoriquement observées en Seine.

Néanmoins, afin de mettre en avant la capacité de l'outil à qualifier le flux sédimentaire, le tableau 2 présente les ordres de grandeur des niveaux de contamination pour l'ensemble des composés analysés. À l'échelle des treize échantillons considérés, les concentrations apparaissent relativement stables, sans variabilité notable corrélée aux conditions hydrologiques observées sur la période d'étude.

**Tableau 2 : Ordre de grandeur des teneurs moyennes en carbone organique total (TOC en %), PCB, HAP et métaux en mg/kg pour les 13 échantillons de sédiment issus des pièges Phillips analysés :**

TOC (%)	10 <sup>0</sup>
PCB (mg/kg)	10 <sup>-2</sup>
HAP (mg/kg)	10 <sup>0</sup>
Cr (mg/kg)	10 <sup>2</sup>
Ni (mg/kg)	10 <sup>1</sup>
Cu (mg/kg)	10 <sup>1</sup>
Zn (mg/kg)	10 <sup>2</sup>
As (mg/kg)	10 <sup>1</sup>
Ag (mg/kg)	10 <sup>0</sup>
Cd (mg/kg)	10 <sup>0</sup>
Sn (mg/kg)	10 <sup>1</sup>
Sb (mg/kg)	10 <sup>0</sup>
Pb (mg/kg)	10 <sup>1</sup>

# CONCLUSION

Le projet RePoses et les données acquises par la station déployée par le GIP Seine-Aval ont permis de construire une relation turbidité / [MES] déterminée *in situ* à partir de triplicat de prélèvements, avec une corrélation élevée ( $R^2 = 0,96$ ). La comparaison avec une calibration *in vitro* souligne la sensibilité de cette relation aux caractéristiques des particules, et donc la nécessité d'un échantillonnage régulier *in situ* pour intégrer la variabilité des MES.

Malgré un contexte hydrologique fortement contrasté et perturbé par les travaux de rénovation du barrage (crue longue de 2023-2024, alternance de phases de forts courants et de phases calmes liés aux manœuvres des passes), les concentrations en MES apparaissent comme remarquablement homogènes à l'échelle de la section au droit de la station. Les résultats montrent qu'il existe très peu de variabilité latérale ou verticale au niveau de la station de mesure. Ce résultat conforte la pertinence d'un suivi en berge rive gauche pour caractériser les flux solides à Poses, dans le cadre d'un dispositif d'observation de long terme.

L'application de la relation turbidité / [MES] aux séries haute fréquence a ainsi permis d'estimer des flux solides annuels cohérents avec les ordres de grandeur issus de la littérature, tout en confirmant que la majeure partie du transit sédimentaire se produit lors des épisodes de débits élevés. Durant la période janvier 2024 – Décembre 2025, plus de 1,1 Mt de sédiment en suspension ont transité à Poses, en accord les estimations précédentes (Avoine, 1995 ; Guezennec, 1999 ; Landemaine 2016). La mise en relation du débit avec les concentrations en MES a permis de proposer une quantification du flux sédimentaires indépendantes des mesures haute fréquence de turbidité : à l'échelle de la période étudiée cette quantification diverge d'environ 20% de la quantification basée sur les mesures hautes fréquences. Cette divergence s'avère être du même ordre de grandeur que les apports sédimentaires totaux d'une année à faible débit.

Le projet RePoses a ainsi permis de mesurer les concentrations en MES et les flux sédimentaires transitant au niveau du barrage de Poses de manière inédite depuis les mesures réalisées par le SPC entre 1996 et 1998.

La décomposition en modes des distributions granulométriques des sédiments piégés dans les pièges de type Phillips montre la robustesse et la transposabilité de l'approche développée dans Masson et al. 2018 pour décrire les populations granulométriques dominantes. Toutefois, nos premières comparaisons aux données de granulométrie *in-situ* souligne les incertitudes qui subsistent quant à la représentativité des sédiments piégés vis-à-vis des sédiments en transit. Ces incertitudes, combinées à la forte dépendance des teneurs en contaminants à la granulométrie, limitent pour l'instant la transposition directe des teneurs en POC et de contaminants (PCB, HAP, métaux) en flux annuels à Poses, même si les ordres de grandeur des niveaux de contamination et leur relative stabilité au cours du suivi constituent déjà une information précieuse.

## PERSPECTIVES

La spécificité de la période d'étude, marquée à la fois par un contexte hydrologique atypique et par les travaux sur le barrage de Poses, ainsi que les résultats obtenus dans le cadre du projet, soulignent la nécessité de poursuivre le suivi haute fréquence à Poses, en l'associant à des mesures et prélèvements complémentaires. La forte variabilité des apports sédimentaires en réponse aux conditions hydrologiques met en évidence l'importance d'un suivi de long terme, permettant d'explorer la variabilité intra-annuelle et de documenter les différents régimes décrits dans la littérature (par exemple ceux mis en évidence par Guezennec, Figure 10). Un suivi pérenne permettrait également de détecter d'éventuelles évolutions des relations entre apports sédimentaires et hydrologie liées aux changements globaux.

Ces premières mesures montrent que les observations réalisées en berge sont représentatives de l'ensemble de la section. Néanmoins, des interrogations subsistent quant aux effets locaux du barrage sur les dynamiques sédimentaires, notamment lors des phases d'abaissement en crue qui peuvent générer un abaissement du niveau d'eau de l'ordre du mètre malgré des débits élevés (observé en février 2026). Les données acquises sur les futures installations de Vernon, au niveau de la station de mesure de la DRIEAT (Projet Carnot Clim'Adapt SHERIF), ainsi que sur la station MESEINE SIAAP prochainement implantée contre la passe condamnée du barrage, fourniront des mesures de turbidité en trois points qui permettront de mieux caractériser l'influence locale du barrage sur le transit sédimentaire.

À l'échelle des deux années de projet, et compte tenu des particularités de la période étudiée, les données acquises n'ont pas révélé de variations simples et robustes de la relation turbidité/[MES] qui puissent être clairement attribuées à une variabilité saisonnière des caractéristiques du matériel en suspension. La relation déterminée *in vitro* à partir d'un sédiment estival dans le cadre du projet MeSeine TurbiSeine semble néanmoins se rapprocher des relations observées *in situ* pour les faibles débits, ce qui ouvre une piste de travail à approfondir. Il serait ainsi intéressant d'investiguer plus systématiquement cet aspect, en intégrant d'autres paramètres environnementaux : granulométrie *in situ*, fluorescence, teneur en POC (et sa qualité), propriétés optiques (réflectance/absorbance), ainsi que des observations détaillées des particules (microscope électronique à balayage).

Par ailleurs, les premières expérimentations de piégeage des sédiments ont permis d'initier une démarche de qualification du matériel en suspension, en montrant à la fois la pertinence de l'approche et les difficultés associées. En particulier, la nécessité de caractériser finement le biais entre les sédiments effectivement en suspension dans la colonne d'eau et ceux piégés dans les dispositifs de type Phillips apparaît comme un enjeu clé avant toute utilisation systématique de ces pièges pour la quantification des flux ou des bilans de contaminants (Goharrokhi et al., 2019; Perks et al., 2014; Phillips et al., 2000; Smith and Owens, 2014).

Enfin, les premiers résultats semblent montrer que les estimations des apports solides fondées uniquement sur des relations débit / [MES] peuvent conduire à des surestimations significatives des flux sédimentaires (cf. Guezennec, 1999). Or, ce type de relations est utilisé dans la plupart des modélisations hydro-sédimentaires de l'estuaire de la Seine (Artelia, 2016 ; Grasso et al. 2018 ; Schultz et al., 2018 ; Lemoine, 2021), ce qui suggère que les bilans sédimentaires simulés reposent vraisemblablement sur des apports continentaux surévalués. Il serait donc pertinent de comparer les apports sédimentaires mesurés et calculés à partir des différentes relations débit / [MES], et également quantifier la sensibilité des résultats de modélisation long terme à cette potentielle surestimation des apports solides. Par ailleurs, même si l'observation ADCP réalisée en crue en janvier 2025 n'a pas mis en évidence de fond

mobile (charriage), l'hypothèse d'une absence d'apport sableux de la Seine vers l'estuaire mériterait d'être formellement vérifiée (utilisée dans les modélisations), d'autant que VNF réalise régulièrement des dragages de sédiments sableux entre Poses et Vernon.

## REFERENCES

- ARTELIA. (2016). Réhabilitation des vasières de l'estuaire de la Seine - Développement et exploitation d'un modèle hydro-sédimentaire 3D. Rapport 171 3203 NA14, 33(0).
- Avoine, J. 1981 L'estuaire de la Seine: Sédiments et Dynamique Sédimentaire. Thèse de doctorat, Université de Caen 236 pp.
- Avoine, J. (1995). Synthèse des connaissances sur l'estuaire de la Seine – Partie 2 – Sédimentologie. Synthèse des connaissances réalisée par l'Ifremer à la demande du Port Autonome du Havre, 191p.
- Druine, F. (2018). Flux sédimentaires en estuaire de Seine : Quantification et variabilité multi-échelle sur la base de mesures de turbidité (réseau SYNAPSES). Thèse de doctorat, Université de Rouen Haute-Normandie, 287p.
- Gardes, T. (2020). Reconstruction temporelle des contaminations métalliques et organiques particulières dans le bassin versant de l'Eure et devenir des sédiments suite à l'arasement d'un barrage.. Sciences de la Terre. Normandie Université, 2020. Français. (NNT : 2020NORMR038). (tel-03122674)
- Goharrokhi, M., Pahlavan, H., Lobb, D.A., Owens, P.N., Clark, S.P., 2019. Assessing issues associated with a time-integrated fluvial fine sediment sampler. *Hydrological Processes* 33, 2048–2056. <https://doi.org/10.1002/hyp.13451>
- Grasso, F., Verney, R., Le Hir, P., Thouvenin, B., Schulz, E., Kervella, Y., Khojasteh Pour Fard, I., Lemoine, J.P., Dumas, F., Garnier, V. (2018). Suspended Sediment Dynamics in the Macrotidal Seine Estuary (France): 1. Numerical Modeling of Turbidity Maximum Dynamics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(1), 558–577. <https://doi.org/10.1002/2017JC013185>
- Guezennec, L. (1999). Hydrodynamique et transport en suspension du matériel particulaire fin dans la zone fluviale d'un estuaire macrotidal : l'exemple de l'estuaire de la Seine (France). Thèse de doctorat, Université de Rouen, 254p.
- Landemaine, V. (2016). Érosion des sols et transferts sédimentaires sur les bassins versants de l'Ouest du Bassin de Paris : analyse, quantification et modélisation à l'échelle pluriannuelle. Thèse de doctorat, Université de Rouen, 235p.
- Lemoine, J.P. (2021). Dynamique morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine : rôle des dragages d'entretien. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 242p.
- Lemoine, J.P. (2025). TurbiSeine : Vers un suivi de la turbidité et des concentrations en MES cohérent de Paris à la mer. Rapport du programme de recherche MeSeine Innovation. 15p.
- McDonald, D.M., Lamoureux, S.F., Warburton, J., 2010. Assessment of a time-integrated fluvial suspended sediment sampler in a high arctic setting. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 92, 225–235. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0459.2010.00391.x>
- Masson, M., H. Angot, C. Le Bescond, M. Launay, A. Dabrin, C. Miège, J. Le Coz, Coquery, M., 2018. Sampling of suspended particulate matter using particle traps in the Rhône River: Relevance and representativeness for the monitoring of contaminants. *Science of the Total Environment* 637-638: 538-549

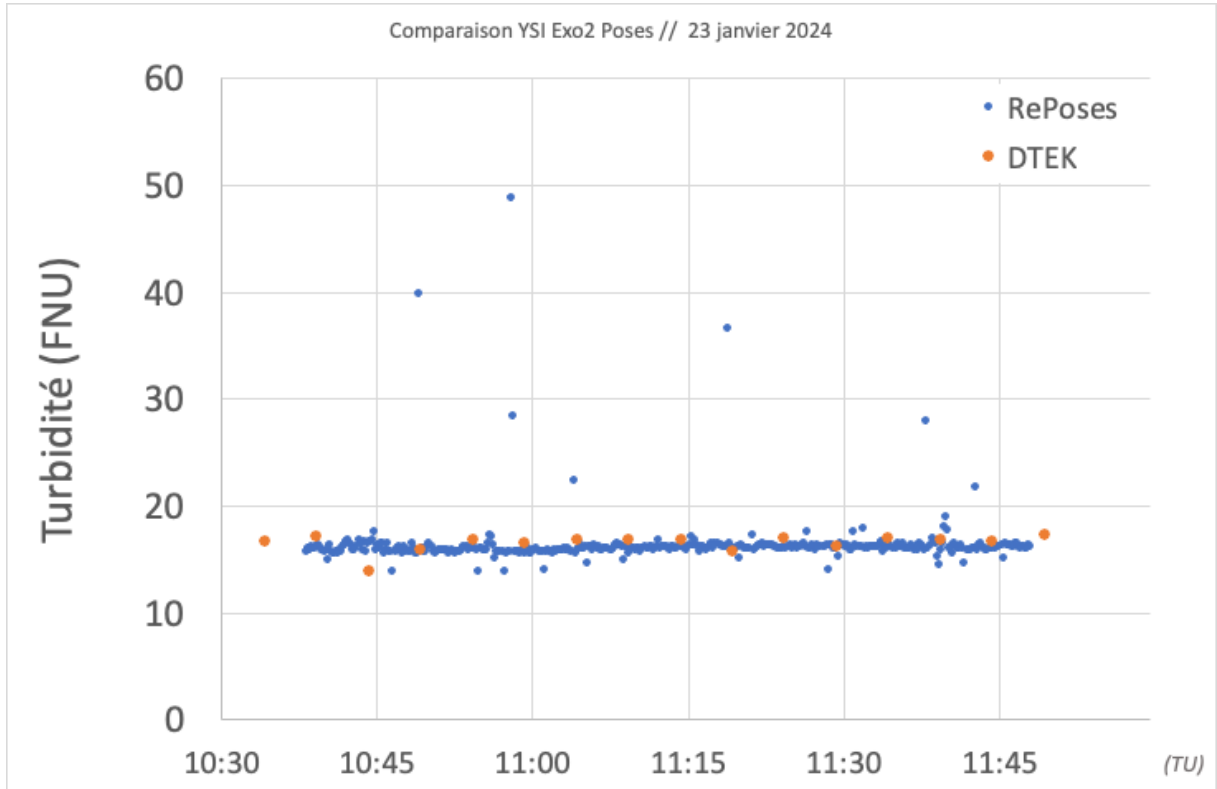
Perks, M.T., Warburton, J., Bracken, L., 2014. Critical assessment and validation of a time-integrating fluvial suspended sediment sampler. *Hydrological Processes* 28, 4795–4807. <https://doi.org/10.1002/hyp.9985>

Phillips, J.M., Russell, M.A., Walling, D.E., 2000. Time-integrated sampling of fluvial suspended sediment: a simple methodology for small catchments. *Hydrol. Process.* 14, 2589–2602. [https://doi.org/10.1002/1099-1085\(20001015\)14:14%3C2589::AID-HYP94%3E3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/1099-1085(20001015)14:14%3C2589::AID-HYP94%3E3.0.CO;2-D)

Schulz, E., Grasso, F., Le Hir, P., Verney, R., Thouvenin, B. (2018). Suspended Sediment Dynamics in the Macrotidal Seine Estuary (France): 2. Numerical Modeling of Sediment Fluxes

Smith, T.B., Owens, P.N., 2014. Flume- and field-based evaluation of a time-integrated suspended sediment sampler for the analysis of sediment properties. *Earth Surf Processes Landf* 39, 1197–1207. <https://doi.org/10.1002/esp.3528>

# ANNEXE





Hangar C - Espace des marégraphes - Quai de Boisguilbert  
76176 ROUEN

*Lemoine J.P., Barrois J.M., Copard Y., Coynel, A., Debret M., Deloffre J., Koltalo F., (2026). REPOSES - calibration et REprésentativité des mesures en continu à POSES. Rapport de recherche Seine -Aval 7, 28 pp.*

Le GIP Seine-Aval ne saurait être tenu responsable de l'utilisation et de l'interprétation des informations mises à disposition.

[www.seine-aval.fr](http://www.seine-aval.fr)

[gipsa@seine-aval.fr](mailto:gipsa@seine-aval.fr)

Le GIP Seine-Aval est financé par

