



1 rue des Moulins 63400 Chamalières - Tél. 04 73 19 96 64 -
contact@veodis-3d.com - www.veodis-3d.com

SARL au capital de 200 000 € - Siret 510 670 649 00035 -
Code APE 7112B - N°TVA Intracommunautaire
FR70510 670 649



352, avenue Roger Tissandié 31 600 MURET -
ecogea@wanadoo.fr - Tél. 05 62 20 98 24

SARL au capital de 8 000 € - N° Siret 499 020 410 00027 -
Code APE 7112B - N°TVA Intracommunautaire
FR05 499 020 410

Evaluation de la mobilité des sédiments lors des éclusées hydroélectriques sur des cours d'eau du bassin Rhône-Méditerranée

Diagnostic

Décembre 2025



Ind.	Date	Libellé	Établi		Véifié		Validé	
			Nom	Visa	Nom	Visa	Nom	Visa
A01	07/03/2025	Première émission	SP/PB		ND		SP/PB	
A02	27/06/2025	Seconde émission	SP/PB		ND		SP/PB	
A03	30/07/2025	Troisième émission	SP/PB		ND		SP/PB	
VDEF	01/12/2025	Version définitive	SP/PB		ND/BT		SP/PB	

Installation de plaques d'impacts pour le suivi de la mobilité sédimentaire (SGF) sur la Romanche en de Bourg d'Oisans, placettes colorées



Sommaire

1. Introduction générale.....	5		
1.1. Origine de l'étude.....	5		
1.2. Objectifs de l'étude.....	5		
1.3. Périmètre de l'étude.....	5		
2. Méthodes d'investigations	6		
2.1. Sélection des zones de suivi.....	6		
2.2. Levés topographiques.....	6		
2.3. Analyses granulométriques	6		
2.4. Suivis par plaques d'impacts.....	6		
2.5. Suivis par particules peintes.....	7		
2.6. Suivis des niveaux d'eau.....	7		
2.7. Mesures des vitesses de courant de surface.....	7		
2.8. Calcul des puissances spécifique.....	8		
3. Caractéristiques générales des sites d'étude.....	8		
3.1. Caractéristiques générales des aménagements.....	8		
3.1.1. La Dranse.....	9		
3.1.2. La Bourne.....	10		
3.1.3. La Romanche.....	11		
3.1.4. Le Verdon.....	11		
3.1.5. La Siagne.....	12		
3.1.6. L'Aude.....	13		
3.1.7. Le Jaur.....	14		
3.1.8. Bilan des caractéristiques générales.....	15		
3.2. Hydrologie générale et régimes des éclusées.....	17		
3.2.1. Caractéristiques générales des régimes hydrologiques.....	17		
3.2.2. Caractéristiques des régimes d'éclusées.....	17		
4. La Dranse.....	19		
4.1. Localisation.....	19		
4.2. Suivis réalisés et planning.....	19		
4.2.1. Instrumentation du site 1 (Pont de Gys).....	19		
4.2.2. Instrumentation du site 2 (Les Raffaux).....	19		
4.2.3. Installation du site 3 (Bois Chevaillères).....	19		
4.2.4. Installation du site 4 (Branlecul).....	20		
4.3. Description des résultats.....	20		
4.3.1. Etat de l'installation.....	20		
4.3.2. Description de l'expérimentation galets colorés.....	21		
4.4. Analyse des résultats.....	22		
		4.4.1. Données de hauteur d'eau sur le site 1.....	22
		4.4.2. Données de hauteur d'eau sur le site 3.....	22
		4.4.3. Données des plaques d'impact.....	22
		4.4.4. Analyse des différentes périodes d'éclusées et des débits seuils de mise en mouvement.....	24
		4.4.5. Analyse des périodes de crue naturelles et des débits seuils de mise en mouvement.....	24
		4.5. Conclusion sur les données issues des plaques d'impact.....	26
		4.6. Conclusion du traçage sédimentaire.....	27
5. La Bourne.....	29		
5.1. Localisation.....	29		
5.2. Suivis réalisés et planning.....	29		
5.3. Résultats des plaques d'impacts.....	31		
5.4. Résultats des particules peintes.....	34		
6. La Siagne.....	36		
6.1. Localisation.....	36		
6.2. Suivis réalisés et planning.....	36		
6.3. Résultats des plaques d'impacts.....	37		
7. Le Verdon.....	39		
7.1. Localisation.....	39		
7.2. Suivis réalisés et planning.....	39		
7.3. Résultats des plaques d'impacts.....	39		
8. L'Aude.....	42		
8.1. Localisation.....	42		
8.2. Suivis réalisés et planning.....	42		
8.3. Résultats des plaques d'impacts.....	44		
8.4. Résultats des particules peintes et tracées par RFID.....	45		
8.4.1. Station ST1.....	45		
8.4.2. Station ST2.....	45		
8.5. Puissance spécifique du cours d'eau.....	45		
9. La Romanche.....	47		
9.1. Localisation.....	47		
9.2. Suivis réalisés et planning.....	47		
9.2.1. Mise en place de plaques d'impacts.....	47		
9.2.2. Mise en place de placettes colorées, topographie fine et drone.....	48		
10. Le Jaur.....	53		
10.1. Localisation.....	53		



10.2.	Suivis réalisés et planning	53
10.3.	Situation hydrologique au cours du suivi	55
10.4.	Caractéristiques de la zone de frayère.....	55
10.5.	Résultats des plaques d'impacts.....	56
10.6.	Résultats des particules peintes et traceurs RFID	58
10.7.	Résultats des places peintes	59
10.8.	Puissance spécifique du cours d'eau	59
11.	Premier bilan des suivis	60
11.1.	Difficultés de mise en œuvre	60
11.2.	Bilan des méthodologies utilisées par site.....	60
11.3.	Bilan des principaux résultats.....	61
12.	Annexes.....	62

1. Introduction générale

1.1. Origine de l'étude

Les éclusées hydroélectriques se traduisent par des variations de débit en rivière qui peuvent être très importantes. Le constat a été fait depuis de nombreuses années, que ces variations de débits avaient des impacts écologiques sur les biocénoses aquatiques, impacts qui peuvent être directs : exondation de pontes de poissons, d'invertébrés et batraciens, piégeage voire échouage puis mort des poissons et invertébrés lors des baisses, dérive forcée de larves d'invertébrés et/ou de poissons (Hunter, 1992 ; Baumann et Klaus, 2003; Young *et al.*, 2011; Cornu, 2015; Bejarano *et al.*, 2017). Les impacts peuvent également être indirects tout particulièrement par l'intermédiaire des phénomènes d'érosion ou ensablement des frayères par exemple, de comblement de faciès profonds par des apports sédimentaires provenant de l'amont en phase d'éclusée. Des études récentes sur la mobilité des substrats lors d'éclusées hydroélectriques sur deux rivières espagnoles ont montré des déplacements significatifs de petites et gros galets selon les configurations morphologiques et hydrologiques ((Lopez *et al.*, 2020 ; Véricat *et al.*, 2020).

Il nous paraît important d'indiquer que la mobilité potentielle des sédiments lors des éclusées hydroélectrique dépend de plusieurs facteurs :

- Des caractéristiques hydrologiques des éclusées et notamment la valeur du débit maximal,
- Des caractéristiques morphologiques du cours d'eau qui dépendent elles-mêmes de caractéristiques naturelles (pente, forme du fond de vallée, géologie) mais également des aménagements anthropiques du lit ainsi que du niveau de stockage des eaux dans le bassin,
- Des caractéristiques hydrauliques qui découlent du croisement des deux citées précédemment,
- De l'intensité du transit sédimentaire et notamment du transit des sédiments grossiers qui est très lié à la fois aux caractéristiques du bassin versant mais aussi et surtout aux capacités de stockage des eaux du bassin (présence de grands barrages).

L'absence de mobilité de substrat lors d'éclusée ne signifie pas forcément que ces événements hydrologiques n'ont aucun impact potentiel sur le transport solide, elle peut être le reflet d'une faiblesse de charge sédimentaire et d'une distribution des zones de frayères notamment qui soit le reflet d'impacts plus anciens des aménagements.

1.2. Objectifs de l'étude

L'objectif de l'étude, menée sur 7 tronçons de cours d'eau, est de :

- qualifier et quantifier les phénomènes de mobilité sédimentaire liés aux éclusées sur la base de mesures sur plusieurs sites à éclusées de cours d'eau du bassin Rhône-Méditerranée (RM).
- apporter les premiers éléments d'évaluation de leurs impacts potentiels, directs et indirects, sur la dynamique morphologique du cours d'eau et les biocénoses aquatiques.
- évaluer les méthodes qui permettraient d'éviter ces impacts (donner par exemple un débit de pointe maximal).

Les travaux ont été menés par les bureaux d'études **ECOGEA** et **VEODIS-3D**.

1.3. Périmètre de l'étude

L'étude s'étend sur le bassin Rhône Méditerranée et couvre 7 cours d'eau soumis aux éclusées en raison de la présence en amont des sites de suivi d'un ouvrage hydroélectrique (Figure 1).

- L'Aude et le tronçon situé en aval de l'aménagement de Nentilla.
- La Bourne et le tronçon situé en aval de l'aménagement de Pont-en-Royans.
- La Dranse et le tronçon situé en aval de l'aménagement de Bioge.
- La Romanche et le tronçon situé en aval de l'aménagement de Saint-Guillemme.
- La Siagne et le tronçon situé en aval de l'aménagement de Tanneron-le-Tignet.
- La Verdon et le tronçon situé en aval de l'aménagement de Vinon.
- Le Jaur et le tronçon situé à l'aval de l'aménagement de Montahut.

Evaluation de la mobilité des sédiments lors des éclusées hydroélectriques

Sites d'étude

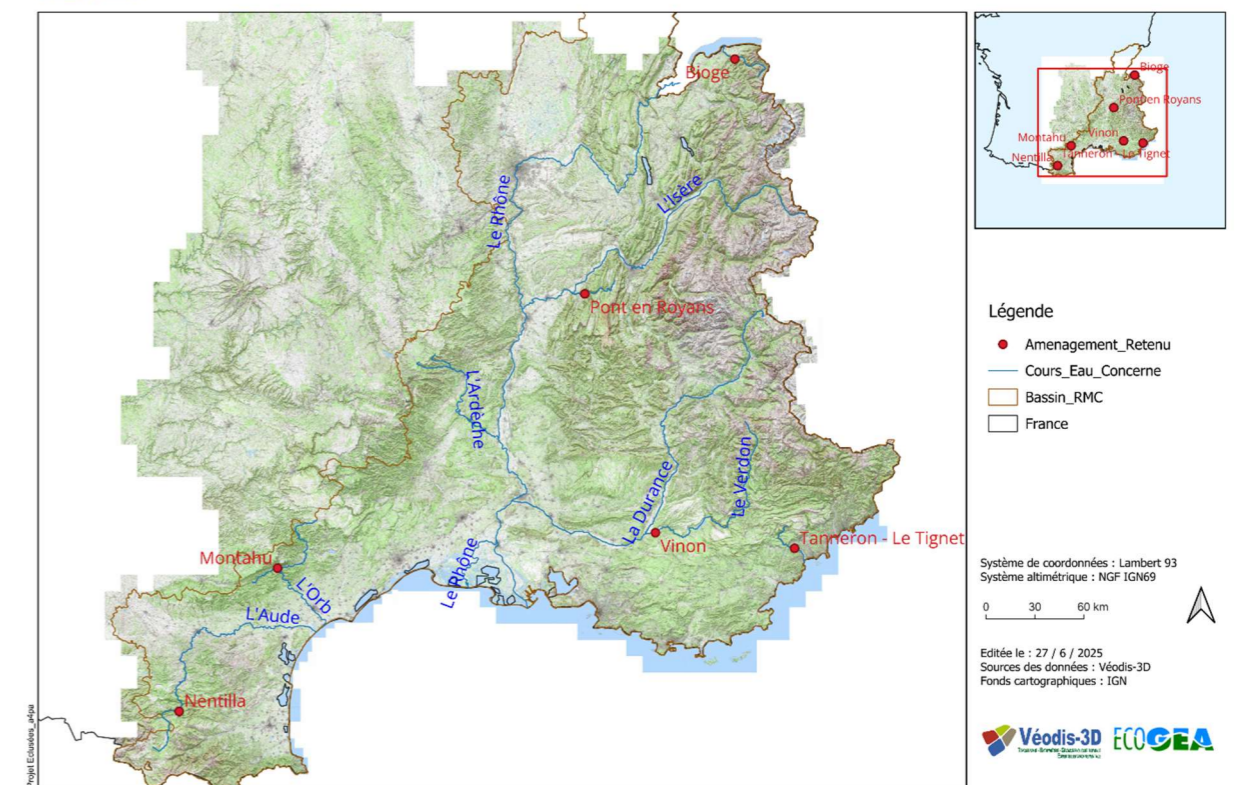


Figure 1 - Localisation des sites d'études.

2. Méthodes d'investigations

La méthode de diagnostic repose sur une comparaison des conditions avant et après le passage d'une éclusée. Pour suivre la mobilité des particules lors de ces éclusées, plusieurs approches complémentaires ont été mises en place.

2.1. Sélection des zones de suivi

Sur chaque site d'étude, des zones spécifiques ont été identifiées pour réaliser le suivi de la mobilité des substrats. Il s'agit de zone correspondant à des frayères potentielles de poissons lithophiles (truite, ombre commun, barbeau fluviatile). Elle correspond à des surfaces granulométriquement favorables à la reproduction (SGF). Leur composition granulométrique de surface est homogène avec un mélange de particules de type gravier-petits galets (de 0.2 à 5 cm de diamètre).

Sur chaque site d'étude, 1 à 2 zones ont été identifiées pour y réaliser les suivis.



Figure 2 – Identification de zone de SGF (frayère potentielle) sur un site d'étude de l'Aude. Les tâches claires correspondent à des frayères actives de truites (source ECOGEA).

2.2. Levés topographiques

Les levés sont réalisés à l'aide de GNSS Trimble R12 fonctionnant en mode RTK temps réel. Plusieurs levés sont réalisés sur chacun des sites d'instrumentation :

- Altitude du niveau au droit des points d'instrumentations (plaques d'impacts, capteur hauteur d'eau, instrumentation galets peints) lors de chaque campagne de suivi.
- Levés de l'altitude du fond du lit, de la plaque d'impact.
- Levés d'un profil en travers au droit de chaque plaques d'impact.



Figure 3 - Levés par GNSS RTK (précision centimétrique).

2.3. Analyses granulométriques

Sur chaque site d'instrumentation, un prélèvement granulométrique volumétrique d'environ 5 à 10 litres a été effectué. L'analyse a porté sur la fraction grossière de la granulométrie, en suivant les classes définies par l'échelle de Wentworth : <2 mm, 2-8 mm, 8-16 mm, 16-32 mm, 32-64 mm et >64 mm (Figure 4).



Figure 4 - Dispositif de tamisage et d'analyses granulométriques à sec (Source Véodis-3D).

En complément, des descriptions des couvertures granulométriques de surface ont été effectuées le long de transects transversaux au droit des zones de frayères de poissons identifiées.

2.4. Suivis par plaques d'impacts

Une plaque d'impact est une plaque en acier inoxydable équipée d'un capteur piézoélectrique, conçu pour détecter les chocs des particules transportées par la rivière lorsqu'elles frappent le métal. Ce capteur est relié à un datalogger, qui enregistre et comptabilise les impacts sur un intervalle de temps défini.



Figure 5 - exemple de plaques d'impacts installée sur la Bourne (Véodis-3D, 2024).

2.5. Suivis par particules peintes

L'objectif de cette expérimentation est d'affiner la détermination du débit seuil de mise en mouvement des particules et d'évaluer l'impact d'un ou plusieurs éclusés sur la mobilité sédimentaire.

Les particules sont prélevées dans le milieu naturel lors des échantillonnages granulométriques destinés à caractériser la granulométrie. Elles sont ensuite peintes en laboratoire à l'aide de bombes de peinture fluorescente de chantier. La granulométrie des particules injectées est reconstituée à partir de la courbe granulométrique initialement tracée. Sur certains sites, les particules ont été équipées de pit-tag fixés à la surface.



Figure 6 – Implantation de pit-tag sur les particules peintes (source ECOGEA).

Sur chaque site, entre 50 et 80 particules sont injectées, puis enchâssées dans les matériaux de surface par une légère pression manuelle.



Figure 7 - Instrumentation de particules peintes (source Véodis-3D).

2.6. Suivis des niveaux d'eau

Deux capteurs de pression ont été installés sur chaque site afin de suivre le niveau de l'eau :

- Un capteur atmosphérique, fixé à l'aide d'un câble métallique à un arbre en hauteur, dissimulé dans des zones difficiles d'accès pour limiter les risques de vol ou de vandalisme. Ce capteur enregistre une mesure de pression et de température toutes les 15 minutes.
- Un capteur de pression immergé, positionné dans une zone dépourvue de remous hydrauliques afin de suivre précisément les variations de la hauteur d'eau en fonction du débit. Ce capteur est inséré dans un tube en PVC ouvert aux deux extrémités et ancré à un rocher pour assurer sa protection. Il est également sécurisé par un câble métallique fixé au rocher.

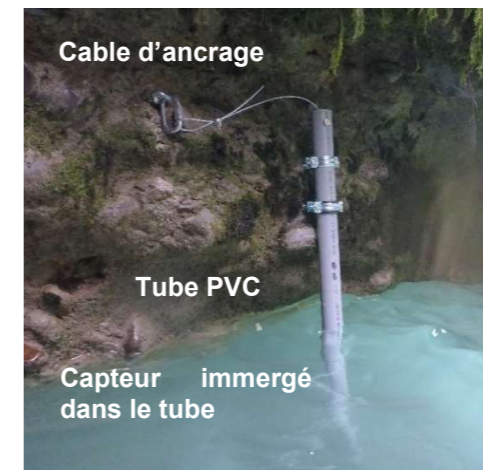


Figure 8 - Mode d'installation du capteur de pression immergé (source Véodis-3D).

2.7. Mesures des vitesses de courant de surface

Au droit de chaque point d'instrumentation, de mesures de vitesses de courant de surface sont réalisées soit par radar portable ou courantomètre.

Des mesures à plus petite échelle ont également été réalisées par méthode LSPIV grâce du logiciel Fudaa-LSPIV 1.9.2 à partir de vidéos issues de campagnes drone, après mise en place de points de repères géoréférencés (Figure 9).



Figure 9 – Moyens utilisés pour les mesures de vitesse de courant de surfaces (source Véodis-3D).



2.8. Calcul des puissances spécifique

Nous avons calculé la puissance spécifique du cours d'eau sur les zones de frayères aux débits max du suivi.

Schématiquement, la puissance du cours d'eau caractérise les potentialités dynamiques de la rivière (énergie développée par la rivière) pour une crue de fréquence considérée.

La puissance d'un cours d'eau est le produit pente x débit x poids volumique de l'eau. Elle est fonction des conditions hydrologiques et de la morphologie générale (pente et forme de la vallée) et locale (style fluvial) du cours d'eau. Sa variabilité est donc à la fois spatiale (morphologie différente selon les tronçons de rivière) et temporelle (notamment sur le court terme par le biais des crues).

- La puissance brute (Ω) est calculée comme suit : $\Omega = \gamma QJ$ (en watt/m).
- La puissance spécifique (ω) est calculée comme suit : $\omega = \Omega/l$ (en watt/m²).

où γ est le poids volumique de l'eau (9810 N/m³), Q le débit (m³/s), J la pente de la ligne d'énergie en m/m, l la largeur du lit pour le débit utilisé (m).

Il est généralement considéré qu'une rivière est active (réajustements morphologiques possibles) au-delà de 25 à 35 W/m² (Figure 10).

Cette valeur est doit être nuancée, car la capacité d'ajustement du cours d'eau dépend également de la cohésion des berges (Malavoi et al., 2007), mais aussi du contexte local. Cela est particulièrement vrai dans notre étude, les zones de suivi étant de petite taille et donc fortement influencées par les conditions morphologiques locales (granulométrie, présence de gros blocs, position dans le lit, etc.).

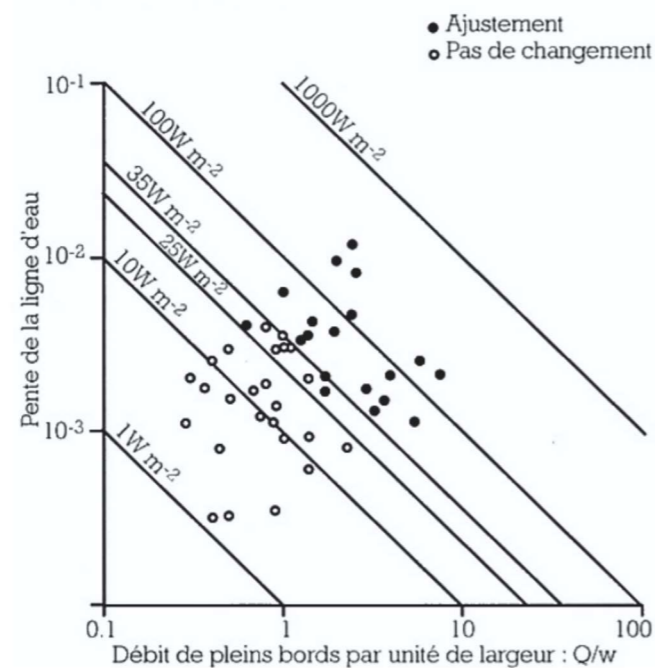


Figure 10 - Seuils de puissance spécifique (d'après Brookes, 1998 in Wasson et al., 1998).

3. Caractéristiques générales des sites d'étude

3.1. Caractéristiques générales des aménagements

Les caractéristiques générales des aménagements hydroélectriques des 6 sites d'étude ont été fournis via la documentation de l'exploitant EDF (Tableau 1).

Tableau 1 - Principales caractéristiques des 6 aménagements hydroélectriques concernés.

Cours d'eau	Aménagements	Débit équipement (m ³ /s)	Débit équipement (% module)	Hauteur brute de chute (m)	Volume retenues amont (Hm ³)
Aude	NENTILLA	13	1.0	526.6	9.8
Bourne	PONT-EN-ROYANS	27	1.3	110.6	2.2
Dranse	BIOGE	24	1.2	113	1
Romanche	ST-GUILLERME II	45	1.2	293	50
Siagne	TANNERON-LE-TIGNET	24	2.7	13	60
Verdon	VINON	48	1.8	83.7	849
Jaur	MONTAHUT	19	5.4	621.5	42

Les aménagements de Nentilla (Aude), Pont-en-Royans (Bourne), Bioge (Dranse) et Romanche (Saint-Guillierme) présente des débits maximaux d'équipement compris entre 1 et 1.3 fois le module de la rivière. Vinon sur le Verdon disposer d'un débit maximal turbinable plus élevé (1.8 x le module) et les plus importants débits d'équipements se situent sur la Siagne avec une valeur proche de 2.7 x le module et surtout le Jaur avec une valeur de 5.4 x le module.

En termes de volume d'eau stocké dans les retenues amont, les 7 sites présentent de très grandes disparités. Dans le Verdon, le volume stocké représente 100% du volume écoulé annuellement, cette valeur est de 21% sur la Siagne, de 4% sur la Romanche, 2.5% sur l'Aude et seulement 0.3% sur la Bourne et 0.16% sur la Dranse. Pour le Jaur, le stockage de l'eau se situe dans un autre bassin hydrographique (l'Agout). Les volumes d'eau stockés ne proviennent donc pas du bassin du Jaur.



3.1.1. La Dranse

3.1.1.1. Caractéristiques générales

La Dranse (département de Haute-Savoie) se situe dans le massif des Préalpes du Chablais. Elle est issue de la confluence de la Dranse d'Abondance et de la Dranse de Morzine au droit de la centrale hydroélectrique de Bioge. Elle s'écoule sur 14 km jusqu'au lac Léman et constitue le secteur d'étude. Sa pente moyenne est de 1.2%.

Sur ce linéaire, la rivière traverse plusieurs types de géologie :

- Depuis Bioge jusqu'au Pont de la Douceur en aval d'Armoy, le substratum du territoire est d'âge Secondaire. Il s'agit en particulier de dolomies triasiques accompagnés de matériaux datant du Lias et du Dogger constitués d'un ensemble de marnes et de calcaires plus ou moins argileux et siliceux (Figure 11).
- Sur la majeure partie du territoire, ce substratum secondaire est recouvert de formations datant du Quaternaire. Il s'agit d'alluvions d'origine fluviale : les Conglomérats « des Dranses ». Ces matériaux correspondent aux alluvions déposées par la rivière au cours de l'interstade glaciaire Riss/Würm. Il s'agit de poudingues (galets de 5 à 10 cm de diamètre pris dans une gangue sablo-argileuse), formant notamment de hautes parois (jusqu'à une centaine de mètres) surplombant la RD902. Cette formation est susceptible de subir un délitement et une érosion pouvant apporter des matériaux grossiers à la rivière (Figure 12).
- Au pont de la Douceur, la Dranse traverse les moraines du Würm 1 et du Würm II avant de pénétrer au sein des terrasses lacustres de Thonon, formées de graviers à cailloux roulés de faible dimension, mêlés à du sable dont les lits plongent vers le lac.

Ainsi, sur les 14 km de linéaire entre la restitution de l'usine de Bioge et le lac Léman, la Dranse peut être alimentée en matériaux plus ou moins grossiers de type galets-graviers provenant soit des versants de poudingue des gorges, principalement en rive gauche, soit de l'affluent le Brévon, soit des dépôts alluvionnaires de la partie aval. Les apports de la Dranse de Morzine sont limités par la présence du barrage de Jotty.

Trois types de tronçons géomorphologiques composent le secteur des 14 km :

- Tronçon de gorge : de la confluence du Brévon jusqu'à l'ancienne usine d'Armoy jusqu'au bois du Fiogey (8.9 km).
- Tronçon en tresses : du bois du Fiogey au pont de la D1005 qui a subi des remaniements liés à des travaux hydrauliques (1.9 km).
- Du pont de la D1005 au lac Léman, sauf les 1.5 km de la RN du Delta de la Dranse (3.9 km).

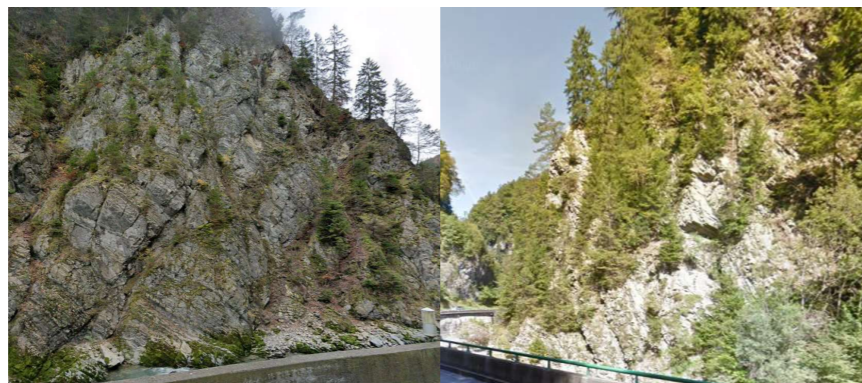


Figure 11 - Illustration des substratums calcaire visibles le long de la Dranse en aval de Bioge.



Figure 12 - Illustration des poudingues de la Dranse bien visibles sur d'importantes hauteurs entre Bioge et le Pont de la Douceur.

3.1.1.2. Composition en faciès d'écoulement et caractéristiques des substrats

La composition en faciès d'écoulement et la granulométrie de surface des substrats sont issues des relevés de terrain réalisés lors de l'analyse des risques écomorphologiques liés aux éclusées dans le cadre de l'état des lieux du SDAGE en 2019.

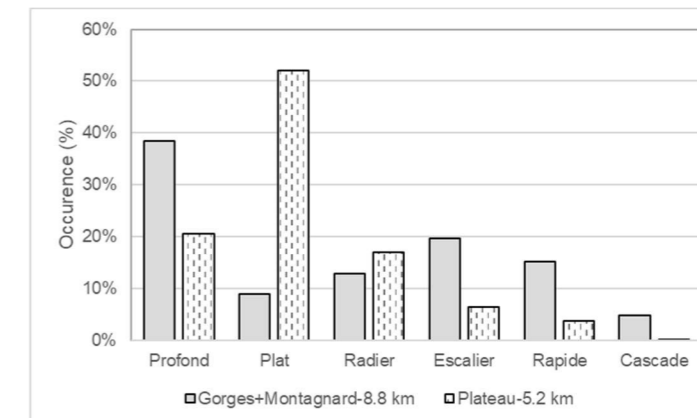


Figure 13 - Succession des faciès d'écoulement sur les 14 kms de la Dranse en fonction des types de tronçons géomorphologiques en 2018.

La succession faciès profond/escalier ou rapide domine les 8.8 km de tronçon amont. Sur les 5 km aval de plateau, les plats sont largement dominants.

Au niveau de la granulométrie de surface des substrats, les fractions dominantes du secteur de gorges sont les gros blocs et les pierres grossières (41% pour les deux) tandis qu'au niveau du plateau, la granulométrie dominante est de type pierre fine, pierre grossière et cailloux grossier (59%).

En termes de surface granulométriquement favorable à la reproduction de la truite (SGF), les relevés de 2018 ont permis de quantifier des surfaces représentant 0.5% du lit dans le secteur de gorges et 1.3% dans la zone aval de plateau.

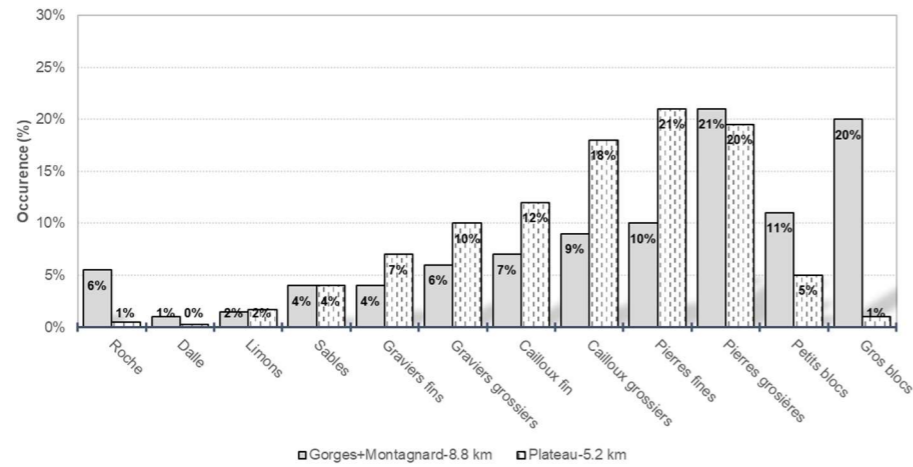


Figure 14 – Composition granulométrique de surface des substrats sur les différents secteurs géomorphologiques de la Dranse en 2018.

3.1.2. La Bourne

3.1.2.1. Caractéristiques générales

La Bourne est située sur les départements de l'Isère et de la Drôme, dans le Massif du Vercors, l'un des plus grands systèmes calcaires français. Ce massif est naturellement sillonné par de profonds réseaux karstiques qui viennent complexifier l'écoulement des eaux superficielles. La Bourne, d'une longueur de 43,1 kilomètres est un affluent rive gauche de l'Isère. Le secteur d'étude se situe dans la partie aval depuis le barrage d'Auberives-en-Royans jusqu'à la confluence de l'Isère soit 9.4 km de rivière pour une pente de 0.3% (Figure 15).

Sur ce linéaire aval, la rivière issue des massifs calcaire du Vercors traverse essentiellement les alluvions fluvio-glaciaires du golfe miocène de Royans. Ponctuellement, le lit vient buter contre des falaises de molasse (Figure 17).

Ainsi, sur les 9 km de linéaire entre la restitution le barrage d'Auberives et l'Isère, la Bourne peut être alimentée en matériaux plus ou moins grossiers de type galets-graviers provenant des alluvions du fond de vallée ainsi que des apports de son affluent rive gauche, la Lyonne. En revanche, les apports depuis l'amont de la Bourne sont bloqués par le barrage d'Auberives.

D'un point de vue géomorphologique, la Bourne s'écoule dans un tronçon montagnard avec une dissymétrie des pentes de versant (un versant souvent très abrupt opposé à un versant à pente très faible). Le style fluvial est sinueux, avec quelques méandres davantage marqués.



Figure 15 - Illustration des dépôts alluvionnaires traversés par la Bourne.



Figure 16 - Illustrations des falaises de molasse.

3.1.2.2. Composition en faciès d'écoulement et caractéristiques des substrats

La composition en faciès d'écoulement et la granulométrie de surface des substrats sont issues des relevés de terrain réalisés lors de l'analyse des risques écomorphologiques liés aux éclusées dans le cadre de l'état des lieux du SDAGE en 2019.

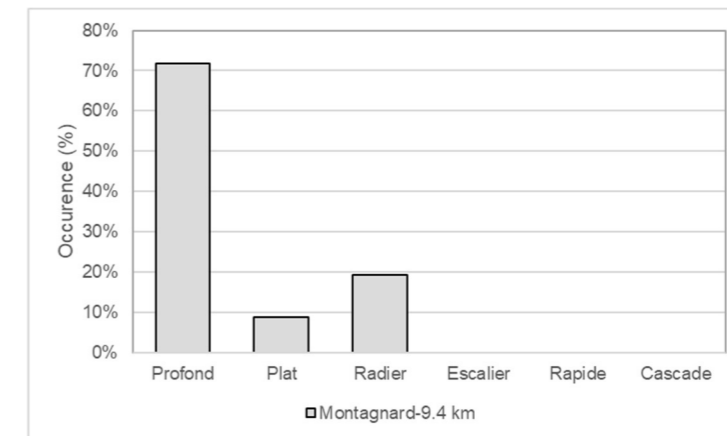


Figure 17 – Succession des faciès d'écoulement sur les 9.4 kms de la Bourne en 2018.

Les faciès profonds dominent très nettement les 9.4 km de secteur avec ponctuellement la présence de radier. Au niveau de la granulométrie de surface des substrats, les pierres grossières constituent de très loin la fraction dominante (76% pour les deux).

En termes de surface granulométriquement favorable à la reproduction de la truite (SGF), les relevés de 2018 ont permis de quantifier des surfaces représentant 0.9% du lit, ce qui est *a priori* très faible.

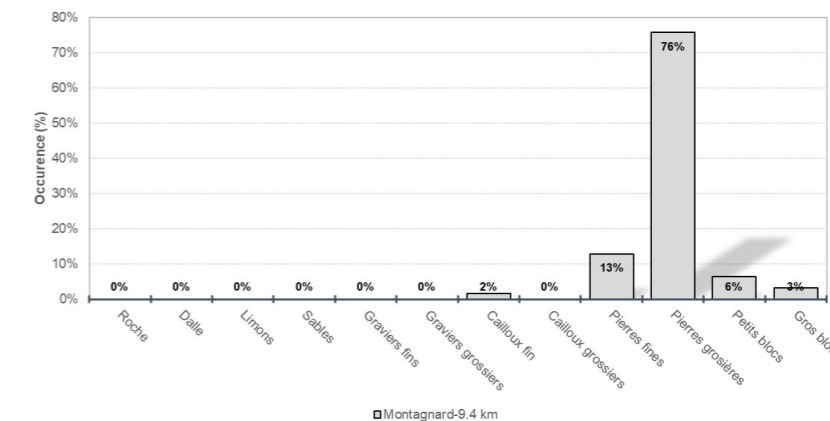


Figure 18 – Composition granulométrique de surface des substrats sur la Bourne en 2018.

3.1.3. La Romanche

La Romanche (départements des Hautes-Alpes et de l'Isère) prend sa source dans le massif des Ecrins avant de traverser l'Oisans. D'une longueur de 78 kilomètres, la Romanche est un affluent rive droite du Drac. Le secteur d'étude se situe dans la partie médiane depuis le barrage de Clapier en aval de la restitution de l'usine de St-Guillaume jusqu'à la confluence avec l'Eau d'Olle soit 14.4 km de rivière pour une pente de 0.2%.

Sur ce linéaire, la rivière traverse les alluvions récentes et elle reçoit les apports d'un affluent important en rive gauche, le Vénéon (Figure 19).

Ainsi, sur les 14.4 km de linéaire entre le barrage de Clapier et l'Eau d'Olle, la Romanche peut être alimentée en matériaux graviers-galets par les alluvions du fond de vallée ainsi que des apports très importants du Vénéon. Très peu de matériaux peuvent en revanche arriver depuis la Romanche avec la présence du barrage du Chambon.

Historiquement, le style fluvial était en tresses mais, actuellement seuls les 1.5 km amont présentent encore une morphologie peu altérée. En aval, la rivière a été totalement chenalisée.



Figure 19 - Illustration des dépôts alluvionnaires traversés par la Romanche.

3.1.3.1. Composition en faciès d'écoulement et caractéristiques des substrats

La composition en faciès d'écoulement et la granulométrie de surface des substrats sont issues des relevés de terrain réalisés lors de l'analyse des risques écomorphologiques liés aux éclusées dans le cadre de l'état des lieux du SDAGE en 2019.

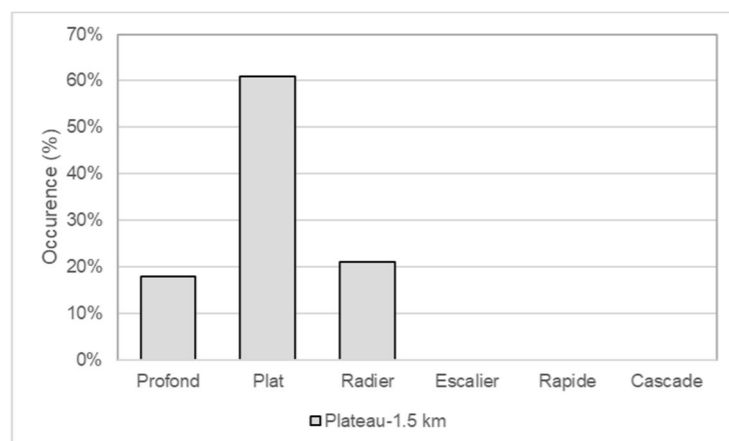


Figure 20 - Succession des faciès d'écoulement sur les 1.5 kms en tresse de la Romanche en 2018.

Les faciès plats dominent très nettement sur ce secteur en tresse avec ponctuellement la présence de radiers et de profonds.

Au niveau de la granulométrie de surface des substrats, les fractions cailloux grossiers et pierres fines sont dominantes (54%) accompagnées de pierres grossières et de cailloux fins (26%).

En termes de surface granulométriquement favorable à la reproduction de la truite (SGF), les relevés de 2018 ont permis de quantifier des surfaces représentant 8.7% du lit sur le secteur en tresse.

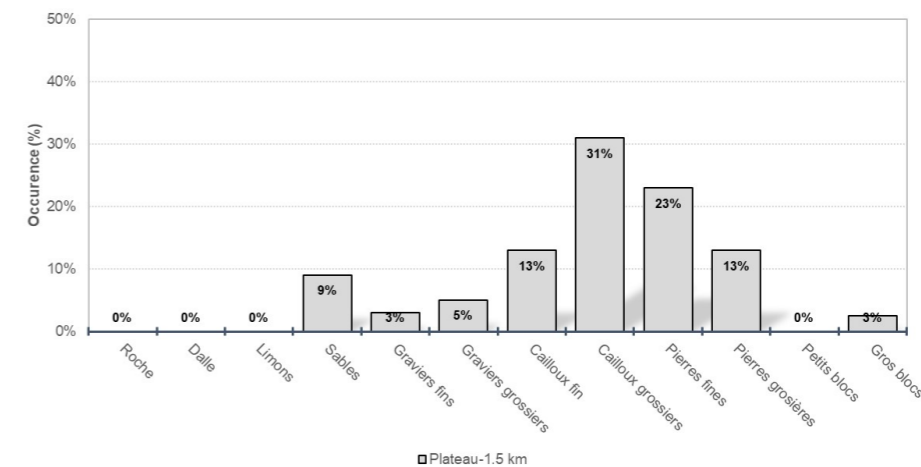


Figure 21 - Composition granulométrique de surface des substrats sur la Romanche dans le secteur en tresse en 2018.

3.1.4. Le Verdon

3.1.4.1. Caractéristiques générales

Le Verdon (département des Alpes de Haute-Provence et du Var) prend sa source dans le massif du Mont Pelat avant de traverser l'immense massif calcaire des Préalpes de Castellane et du plateau de Valensole. D'une longueur de 166 kilomètres, le Verdon est un affluent rive gauche de la Durance. Le secteur d'étude se situe dans la partie aval depuis la restitution de l'usine de Vinon-sur-Verdon jusqu'à la confluence avec la Durance soit 6.1 km de rivière pour une pente de 0.26%.

Sur ce linéaire, la rivière traverse les alluvions récentes (Figure 22).

Ainsi, sur les 6.1 km de linéaire, le Verdon peut être alimenté en matériaux de type galets et graviers par les alluvions du fond de vallée. Aucun matériau ne peut provenir depuis l'amont en raison de la présence des barrages de Ste-Croix, Quinson et Esparron.

D'un point de vue géomorphologique, le Verdon s'écoule dans un tronçon de plateau. Historiquement, le style fluvial était en tresses mais, le lit majeur a été chenalisé par la construction de digues qui limitent actuellement l'espace de mobilité.

A noter, que suite à l'arrêt de l'usine de Vinon entre octobre 2023 et mai 2024 et avec le passage de 2 crues à plus de 200 m³/s et des débits >60 m³/s pendant plus de 3 mois, la morphologie du cours d'eau a été modifiée et des apports de matériaux assez importants ont eu lieu en provenance de la zone amont de Vinon (Figure 23).



Figure 22 - Illustration des dépôts alluvionnaires traversés par le Verdon.



Figure 23 - Illustration de la mobilité du Verdon post-cruée de mars 2024.

3.1.4.2. Composition en faciès d'écoulement et caractéristiques des substrats

La composition en faciès d'écoulement et la granulométrie de surface des substrats sont issues des relevés de terrain réalisés lors de l'analyse des risques écomorphologiques liés aux éclusées dans le cadre de l'état des lieux du SDAGE en 2019.

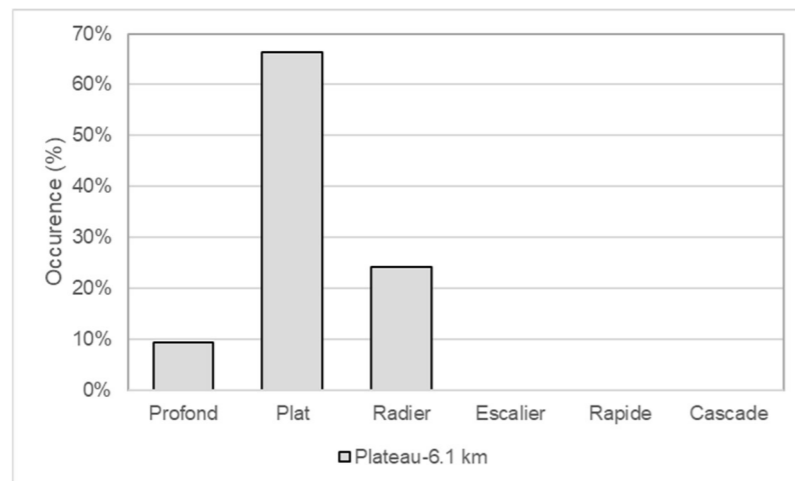


Figure 24 - Succession des faciès d'écoulement sur le Verdon aval en 2018.

Les faciès plat dominent très nettement sur ce secteur avec ponctuellement la présence de radiers et de profonds. Au niveau de la granulométrie de surface des substrats, les fractions pierres grossières est nettement dominante (49) accompagnées de pierres fines (22%).

En termes de surface granulométriquement favorable à la reproduction de la truite (SGF), les relevés de 2018 ont permis de quantifier des surfaces représentant 2% du lit sur le secteur. Suite à la crue de 2024, ces surfaces ont très probablement augmenté sans que de nouvelles mesures aient pu être réalisées.

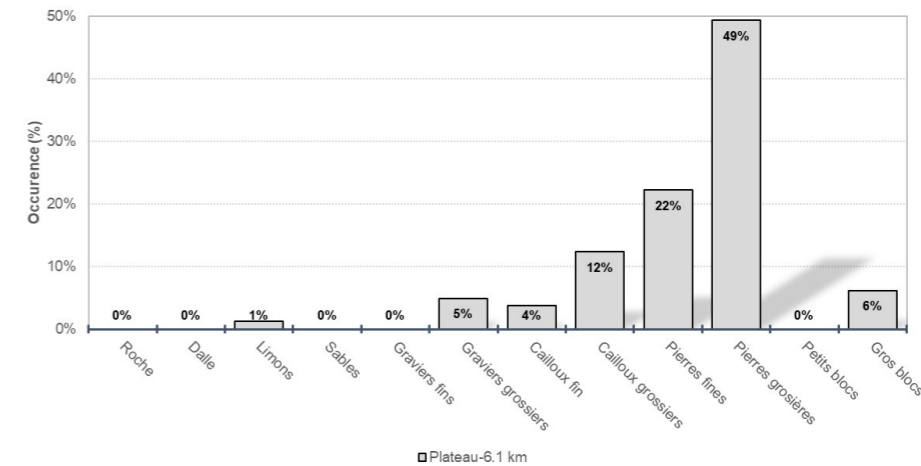


Figure 25 - Composition granulométrique de surface des substrats sur la Romanche dans le secteur en tresse en 2018.

3.1.5. La Siagne

3.1.5.1. Caractéristiques générales

La Siagne (départements du Var et des Alpes-Maritimes) prend sa source dans le massif l'Audibergue avant de traverser un massif sédimentaire calcaire puis le massif cristallin de Tanneron. Le secteur d'étude se situe dans la partie aval depuis le barrage de Tanneron jusqu'à la mer soit 13.4 km pour une pente de 0.18%. Sur ce linéaire, la rivière traverse essentiellement des terrains cristallins issus des gneiss du massif du Tanneron, des migmatites schistoïdes puis, sur la partie aval, des alluvions récentes. Le barrage de Tanneron constitue un point de blocage pour le transport des matériaux (Figure 26). Ainsi, sur les 13.4 km de linéaire en aval du barrage de Tanneron, la Siagne peut être alimentée en matériaux graviers-galets par les alluvions du fond de vallée mais qui restent peu abondantes.

D'un point de vue géomorphologique, la Siagne s'écoule tout d'abord dans un tronçon montagnard (3.5 km) puis dans un plateau. Dans ses 8 km aval, la Siagne est très étagée avec la présence de seuils.



Figure 26 - Illustrations des substrats cristallins du massif de Tanneron et des dépôts alluvionnaires de la vallée de la Siagne.



3.1.5.2. Composition en faciès d'écoulement et caractéristiques des substrats

La composition en faciès d'écoulement et la granulométrie de surface des substrats sont issues des relevés de terrain réalisés lors de l'analyse des risques écomorphologiques liés aux éclusées dans le cadre de l'état des lieux du SDAGE en 2019.

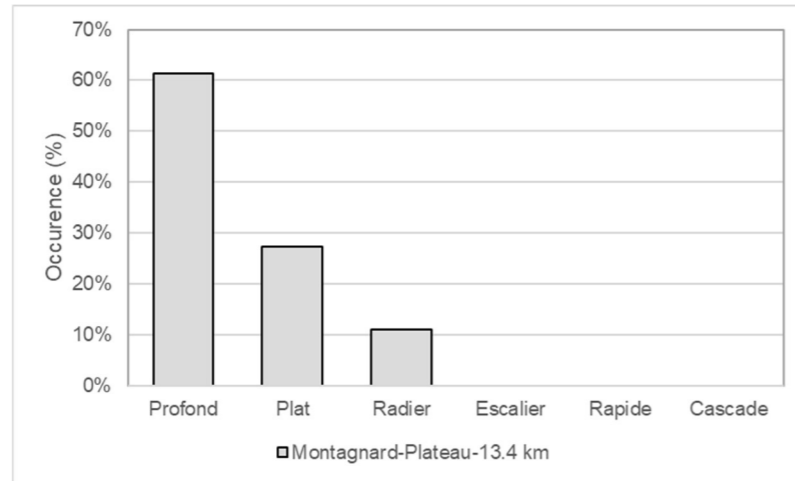


Figure 27 – Succession des faciès d'écoulement de la Siagne en 2018.

Les faciès profonds dominent très nettement avec ponctuellement la présence de radiers et de plats. Un certains de profonds de la partie aval sont directement liés à la présence de seuils.

Au niveau de la granulométrie de surface des substrats, les fractions pierres grossières et pierres fines sont dominantes (65%) accompagnées de graviers fins (13%).

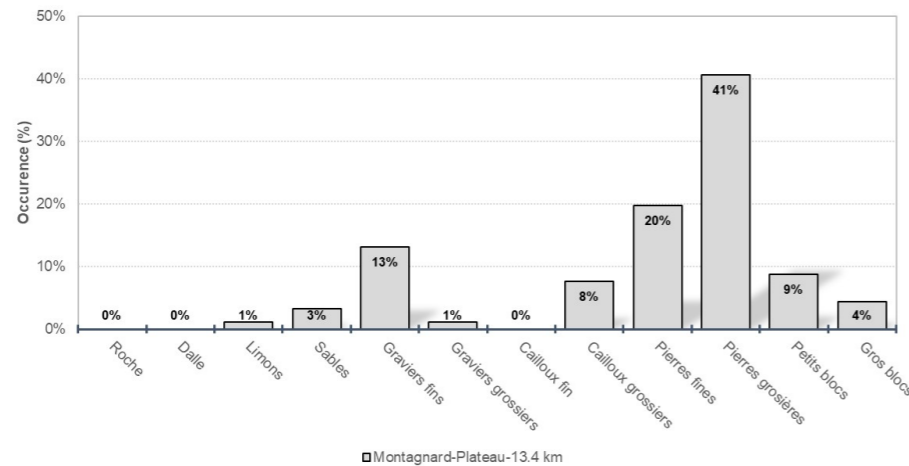


Figure 28 – Composition granulométrique de surface des substrats de la Siagne dans le tronçon montagnard amont en 2018.

En termes de surface granulométriquement favorable à la reproduction de la truite et des cyprinidés d'eau vive (SGF), les relevés de 2018 ont permis de quantifier des surfaces représentant 1% du lit sur le secteur montagnard amont.

3.1.6. L'Aude

3.1.6.1. Caractéristiques générales

L'Aude (département de l'Aude) prend sa source sur les sommets du plateau du Capcir avant de traverser successivement un massif cristallin jusqu'à sa confluence avec la Bruyante puis des roches sédimentaires calcaire. Le secteur d'étude se situe dans la partie amont depuis la restitution de l'usine de Nentilla jusqu'à la ville de Quillan soit 19 km pour une pente de 0.9%.

Sur ce linéaire, la rivière traverse essentiellement des calcaires et des marnes du Crétacé ainsi que des calcaires du Dévonien. Dans le fond de la vallée, l'Aude s'écoule sur des alluvions récentes. Le barrage de Puyvalador situé très amont constitue un point de blocage pour le transport des matériaux venant de la partie haute du bassin versant (Figure 29).

Ainsi, sur les 19 km de linéaire en aval de la restitution de l'usine de Nentilla, l'Aude peut être alimentée en matériaux graviers-galets par les alluvions du fond de vallée et par des apports venants des terrains calcaires traversés.

D'un point de vue géomorphologique, l'Aude s'écoule :

- Dans des gorges très encaissées de type canyon au niveau des défilés de St-Georges et Pierre-Lys (8.5 km).
- Dans des tronçons montagnards sur 8.5 km.
- Dans des plateaux au niveau d'Axat et entre la fin du défilé de Pierre Lys et l'amont de Quillan (2 km).



Figure 29 - Illustrations des substrats calcaire traversés par l'Aude.

3.1.6.2. Composition en faciès d'écoulement et caractéristiques des substrats

La composition en faciès d'écoulement et la granulométrie de surface des substrats sont issues des relevés de terrain réalisés lors de l'analyse des risques écomorphologiques liés aux éclusées dans le cadre de l'état des lieux du SDAGE en 2019.

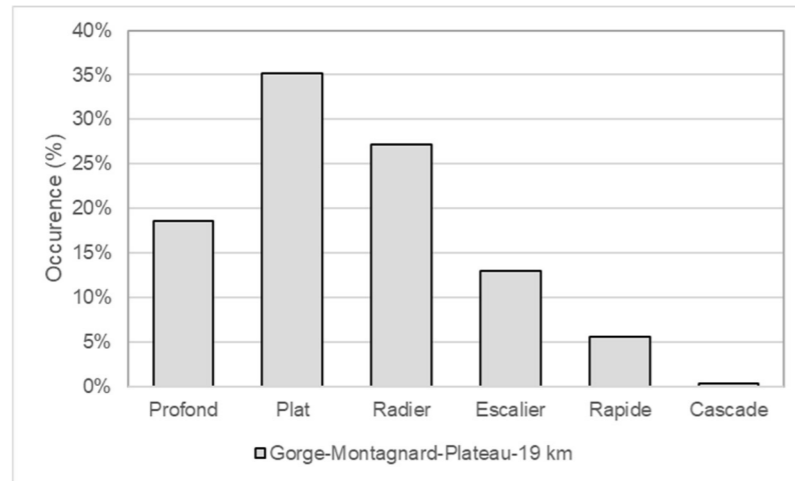


Figure 30 – Succession des faciès d'écoulement de l'Aude en 2018.

La diversité des faciès est assez marquée sur l'ensemble des 19 kms. Selon les tronçons, on retrouve des alternances de plats et de radiers (plateau) ou de profonds-plats et d'escaliers (gorges et montagnard).

Au niveau de la granulométrie de surface des substrats, les fractions de blocs et de pierres grossières sont dominantes (64%) accompagnées de pierres fines (13%).

En termes de surface granulométriquement favorable à la reproduction de la truite et des cyprinidés d'eau vive (SGF), les relevés de 2018 ont permis de quantifier des surfaces représentant 4% du lit.

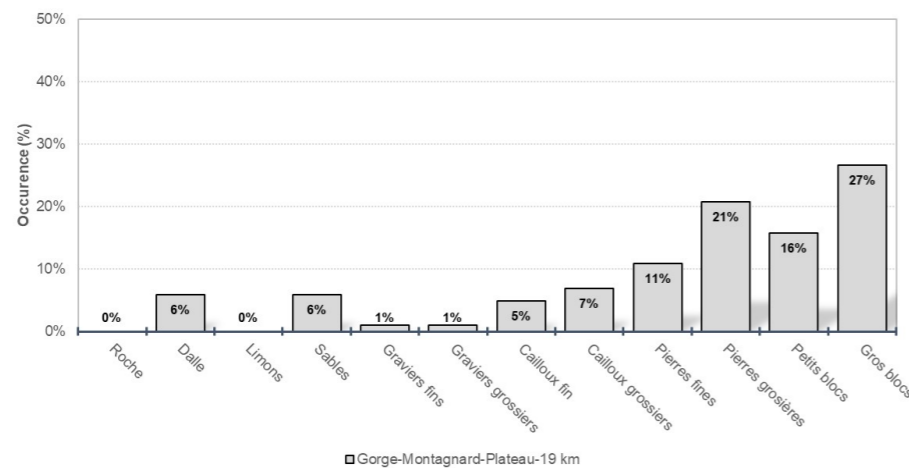


Figure 31 – Composition granulométrique de surface des substrats de l'Aude en 2018.

3.1.7. Le Jaur

3.1.7.1. Caractéristiques générales

Le Jaur (département de l'Hérault) est issu d'une résurgence Vauclusienne située à St-Pons de Thomières. Elle s'écoule ensuite dans une vallée du massif de la Montagne Noire, entre le massif du Caroux et le Haut Minervois. Elle traverse une géologie complexe issue de 3 trois régions naturelles distinctes, les Monts de Lacaune (crêtes de calcaire et de grès dominant les dépressions de schistes), L'Espinouse et le Caroux (roches métamorphiques (granit et gneiss), les Avants-Monts (roches sédimentaires (schistes, grès et calcaire).

Le secteur d'étude se situe dans la partie aval depuis la restitution de l'usine de Montahut jusqu'à la confluence avec l'Orb soit 5.6 km pour une pente de 0.56%.

Sur ce linéaire, la rivière traverse essentiellement des gneiss, des schistes et des micaschistes. Dans le fond de la vallée, le Jaur s'écoule sur des alluvions récentes (Figure 32).

Ainsi, sur les 5.5 km de linéaire en aval de la restitution de l'usine de Montahut, le Jaur peut être alimenté en matériaux graviers-galets par les alluvions du fond de vallée et par des apports venants des terrains traversés notamment en rive gauche.

D'un point de vue géomorphologique, le Jaur s'écoule dans un tronçon montagnard sur 5.6 km.



Figure 32 - Illustrations des substrats traversés par le Jaur.

3.1.7.2. Composition en faciès d'écoulement et caractéristiques des substrats

La composition en faciès d'écoulement et la granulométrie de surface des substrats sont issues des relevés de terrain réalisés lors de l'analyse des risques écomorphologiques liés aux éclusées dans le cadre de l'état des lieux du SDAGE en 2019.

La succession des faciès est assez caractéristique avec 40% du linéaire composé de faciès profond (chenaux lenticules ou lotiques), de plat et de radiers (25%). Les radiers sont soit composé de substrats de petits blocs et galets soit de petits-galets et graviers.

Au niveau de la granulométrie de surface des substrats, les fractions de blocs sont dominantes (70%) accompagnées de pierres grossières (12%).

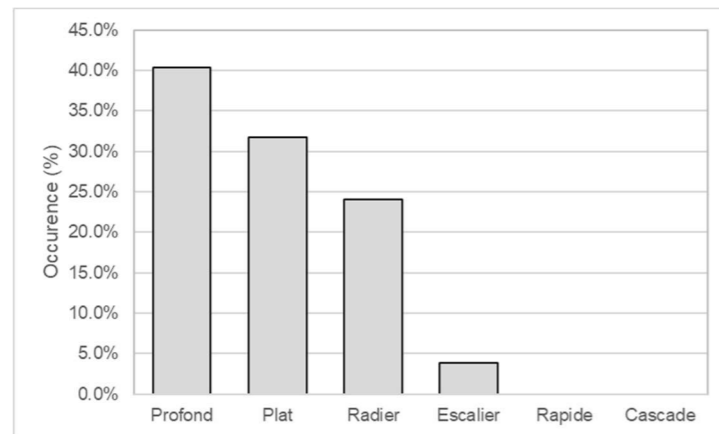


Figure 33 – Succession des faciès d'écoulement du Jaur en 2018.

En termes de surface granulométriquement favorable à la reproduction de la truite et des cyprinidés d'eau vive (SGF), les relevés de 2018 ont permis de quantifier des surfaces représentant 2.2% du lit.

En 2025, les SGF représentaient 3.4% soit une augmentation de 54% par rapport à 2018.

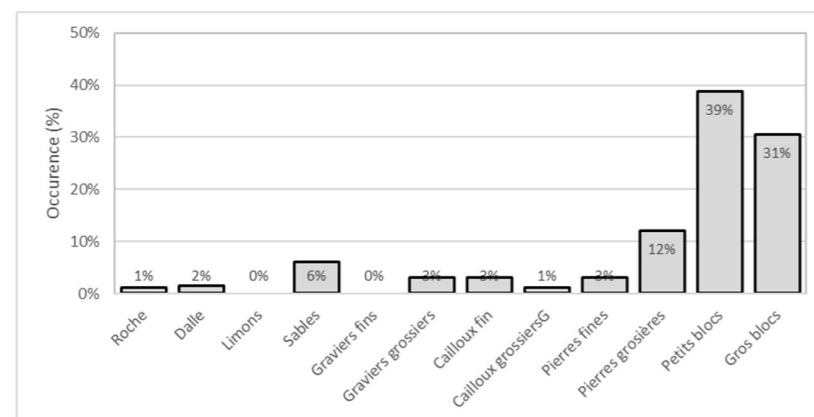


Figure 34 – Composition granulométrique de surface des substrats du Jaur en 2018.

3.1.8. Bilan des caractéristiques générales

Les 7 sites d'étude correspondent à un ensemble de tronçons de cours d'eau de montagne présentant des caractéristiques différentes (Tableau 2) :

- Des secteurs à faible pente (<0.5%) s'écoulant assez majoritairement dans des tronçons de plateau et au milieu d'alluvions récentes (le Verdon à Vinon, la Bourne, la Romanche, l'aval de la Dranse).
- Des secteurs à pente plus forte (proche de 1%) correspondant à des tronçons montagnard et/ou de gorge (Aude, Jaur, Dranse amont, Siagne).
- A l'exception de la Romanche, les granulométries de surface sont plutôt dominées par les pierres grossières voire les blocs accompagnés de pierres fines. Les surfaces de granulométrie favorable à la reproduction des poissons lithophiles (truite, ombre commun, cyprinidés d'eau vive) sont plutôt :
 - faiblement représentées sur la Dranse, la Bourne et la Siagne,
 - moyennement représentées sur le Verdon, le Jaur et l'Aude,
 - fortement représentées sur la Romanche.



Tableau 2 - Bilan des principales caractéristiques des 6 sites d'étude (données issues de l'Etat des Lieux du SDAGE 2019).

Aménagement hydroélectrique	Département	Rivière	Longueur secteur	Altitude moyenne	Pente (%)	Largeur lit mineur (m)	Succession faciès dominante	Granulométrie dominante	Granulométrie accessoire	SGF	Enjeu espèces piscicoles
BIOGE	74	Dranse	14 km	450 m	1.20%	35	Profond/Plat/Escalier	Pierres grossières	Gros blocs/Cailloux grossiers	0.8%	Truite-chabot
NENTILLA	11	Aude	19.4 km	350 m	0.90%	19	Plat/Radier	Gros blocs	Pierres grossières	4.0%	Truite-chabot
PONT EN ROYANS	26-38	Bourne	9.4 km	175 m	0.25%	41	Profond	Pierres grossières	Pierres fines	0.9%	Truite-Ombre commun
ST_GUILLELME_II	38	Romanche	14.4 km	720 m	0.20%	48	Plat/Radier	Cailloux grossiers	Pierres fines	8.7%	Truite
TANNERON_LE_TIGNET	6	Siagne	13.4 km	15 m	0.18%	27	Plat/Profond	Pierres grossières	Pierres fines	1.0%	Cyprinidés eau vive-Truite
VINON	83	Verdon	6.1 km	260 m	0.26%	53	Plat/Radier	Pierres grossières	Pierres fines	2.0%	Truite-cyprinidés eau vive
MONTAHUT	34	Jaur	5.6 km	135 m	0.56%	22	Profond/Plat	Blocs	Pierre grossières	3.4%	Truite-cyprinidés eau vive

3.2. Hydrologie générale et régimes des éclusées

3.2.1. Caractéristiques générales des régimes hydrologiques

Les caractéristiques hydrologiques générales des 7 sites sont issues des analyses de risques conduites lors de l'état des lieux du SDAGE en 2019. Les régimes de débit des 7 cours d'eau sont différents :

- Un régime nivo-glaciaire sur la Romanche.
- Un régime nival sur la Dranse.
- Un régime pluvio-nival sur l'Aude, le Verdon et la Bourne.
- Un régime pluvial méditerranéen sur la Siagne et le Jaur.

Tableau 3 - Caractéristiques générales des régimes hydrologiques des 7 sites d'étude.

Aménagements	Cours d'eau	BV (km ²)	Module (m ³ /s)	Mois Qmin	Mois Qmax	QMNA ₂ (m ³ /s)	Qjmax annuel (m ³ /s)	Qjmax _s (m ³ /s)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₅₀ (m ³ /s)	Q ₉₀ (m ³ /s)
NENTILLA	Aude	692	13.3	Sept.	Mai	5.2	49.7	88	4.7	10.7	25.2
PONT EN ROYANS	Bourne	787	20.8	Août	Avril	2.3	168	250	1.6	11.4	51.0
BIOGE	Dranse	495	19.7	Août-janv	Avril	6.2	112	160	5.4	14.1	40.7
ST_GUILLERM	Romanche	1000	37.4	Juin	Janv	13	137	210	12.0	29.9	72.0
TANNERON LE TIGNET	Siagne	515	8.9	Août	Nov	1.2	88.3	150	1.1	3.7	21.3
VINON	Verdon	1820	26.5	Août	Mai	2.2	85.9	160	0.8	19.8	54.9
MONTAHUT	Jaur	262	3.5	Août	Mars	0.4	110	170	0.24	1.42	6.3

En termes d'abondance hydrologique, on peut distinguer :

- des cours d'eau avec des écoulements moyens annuels plutôt faibles à modérés (Jaur (13 l/s/km²) ; Verdon (14 l/s/km²) ; Siagne (17 l/s/km²) ; Aude (19 l/s/km²),
- un cours d'eau à écoulements modérés à soutenus (Bourne (26 l/s/km²)) ;
- des cours d'eau à écoulements soutenus (Romanche (37 l/s/km²) ; Dranse (40 l/s/km²)).

Au niveau des crues, les valeurs maximales moyennes journalières sont très différentes selon les sites. Elles sont faibles sur le Verdon et sur l'Aude (effet stockage dans les barrages), moyennes sur la Dranse et sur la Romanche (5 x le module), fortes sur la Bourne et la Siagne, et très fortes sur le Jaur (influence méditerranéenne).

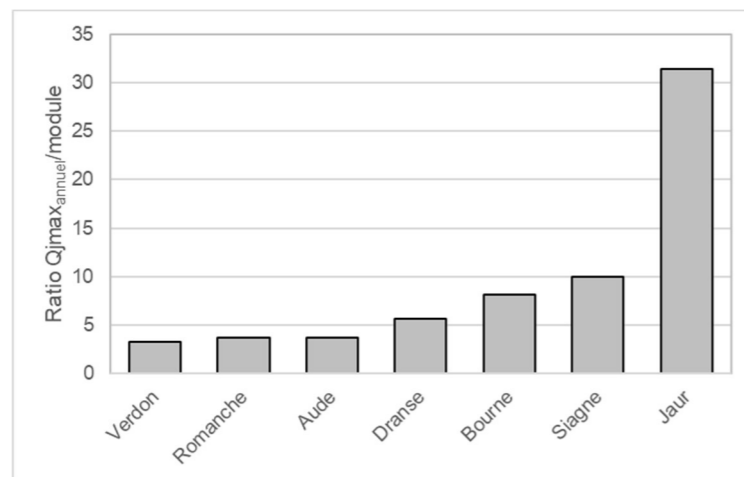


Figure 35 – Ratio débit maximal moyen journalier annuel/module sur les 7 sites d'étude.

3.2.2. Caractéristiques des régimes d'éclusées

Les régimes d'éclusées ont été analysés sur la base des données de débits des stations hydrométriques disponibles sur les 7 sites. Pour les sites de la Bourne, du Jaur et de la Romanche, les analyses ont été réalisées dans le cadre de l'EDL-2019 par EDF. Pour les 4 autres sites, les données ont été actualisées avec les années 2021-2023. A noter que sur le Verdon, la réalisation de travaux sur la galerie de la centrale de Vinon a obligé à un arrêt de l'aménagement et donc des éclusées d'octobre 2023 à juin 2024 et ensuite à des turbinages ne dépassant pas 25 m³/s sur l'été 2024. L'arrêt de l'aménagement a repris en septembre 2024 et se prolongera jusqu'en mai 2025 (Tableau 4).

Tableau 4 - Caractéristiques des régimes d'éclusées sur les 7 sites d'étude.

Aménagements	Rivières	Valeur de l'indicateur de niveau perturbation hydrologique					Dernier décile Qmax (m ³ /s)	Qmax (m ³ /s)
		Automne	Hiver	Printemps	Été	Annuel		
BIOGE	La Dranse	4-	4-	2-	4+	4-	22.0	30
NENTILLA_1	L'Aude	4-	3-	3+	3+	4-	25.0	29
PONT_EN_ROYANS	La Bourne	4+	4+	3+	3-	4-	32.0	40
ST_GUILLERME_II	La Romanche	4-	4-	4-	4-	4-	90.0	105
TANNERON_LE_TIGNET	La Siagne	5	5	5	4-	5	23.5	31
VINON	Le Verdon	4-	4-	3-	3-	4+	48.0	50
MONTAHUT	Le Jaur	5	5	5	5	5	28.6	55

Sur les 7 sites d'étude, la perturbation hydrologique annuelle induite par les éclusées est de niveau sévère à très sévère sur l'ensemble des sites. Les niveaux de perturbations sont sévères et très sévères en automne-hiver (sauf pour l'Aude). Ils sont marqués (Aude) à très sévères (Siagne) au printemps.

Pour rappel, les périodes de fortes sensibilités à la mobilité des substrats des zones de frayères sont :

- automne-hiver pour les truites ;
- hiver-printemps pour les ombres communs,
- printemps pour les cyprinidés d'eau vive.

En termes de débits maximaux des éclusées, les valeurs des derniers déciles de la période automne-printemps varient de 1.1 x module sur la Dranse à 8 x module sur le Jaur et les valeurs des débits maximaux d'éclusée observés sur les 3 années de suivi varient de 1.5 à 16 x le module.

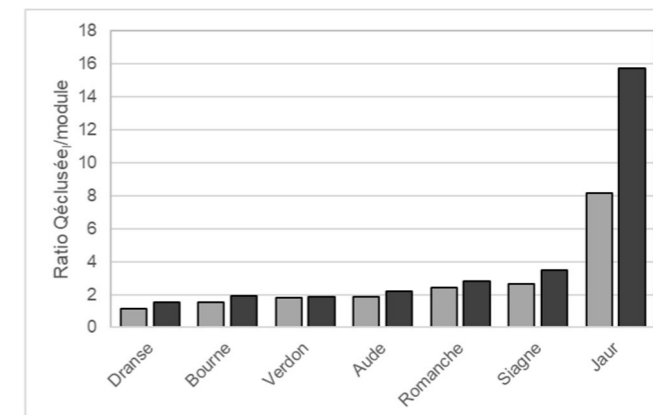


Figure 36 : Ratio des débits maximaux d'éclusées sur le module pour les 7 sites sur la période automne-hiver-printemps.



La Dranse de Morzine

4. La Dranse

4.1. Localisation

Le site de suivi de la mobilité est situé en amont de Thonon-les-Bains et en aval de la retenue du Jotty (Figure 1). Quatre sites ont été instrumentés et suivis : l'un est non impacté par les éclusées, trois autres soumis aux éclusées. Les deux premiers se trouvent dans le tronçon en gorges, tandis que le troisième est localisé dans une zone en tresse, en amont de Thonon-les-Bains.

Site de la Dranse de Morzine

Localisation des sites de suivi

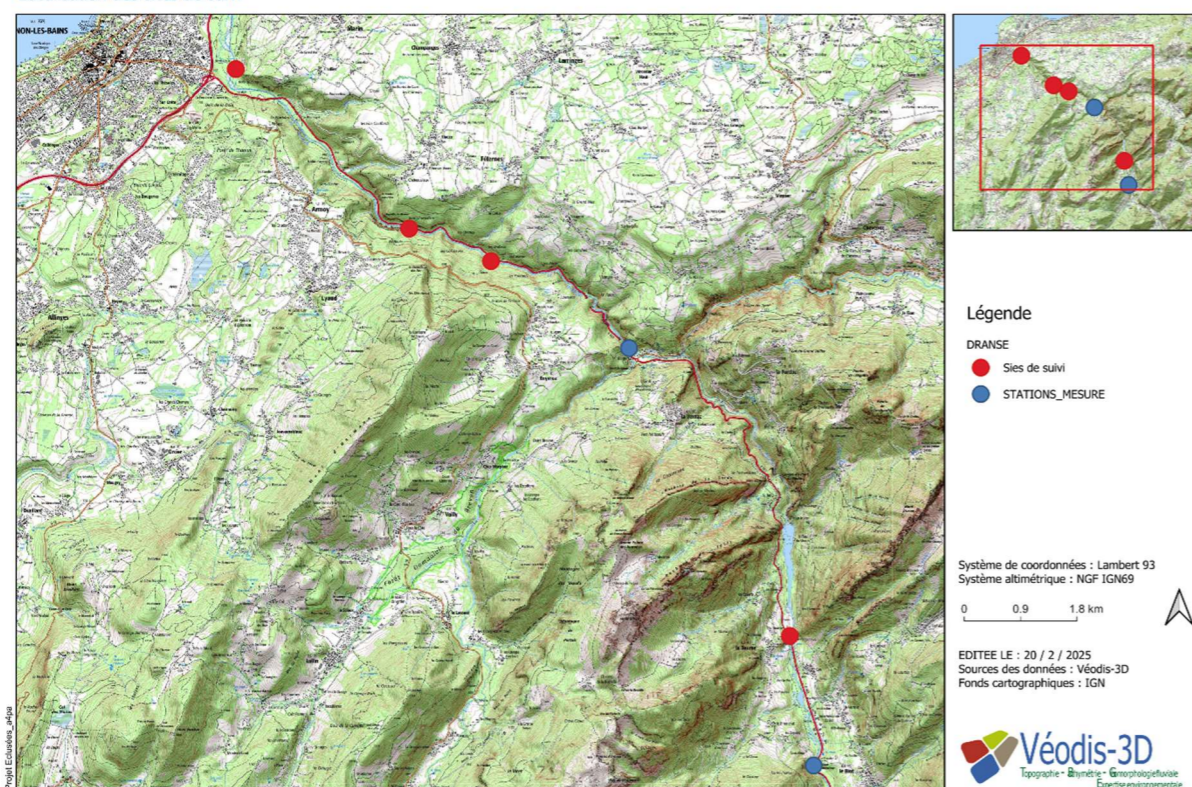


Figure 37 - Présentation du site d'étude de La Dranse.

4.2. Suivis réalisés et planning

L'objectif de ce suivi était de :

- **Observer la mobilité sédimentaire** en lien avec les éclusées, à l'aide de quatre plaques d'impact (P1, P2, P3 et P4), dont l'une est située en amont de la retenue du Jotty et les trois autres en aval. Cet équipement a été complété par l'installation de quatre capteurs de pression, dont deux à l'air libre et deux immergés, afin de mesurer les variations de hauteur d'eau.

Les plaques d'impact et les capteurs de pression ont été installés sur la Dranse les 29 et 30 octobre 2024, avec une durée d'enregistrement de 84 jours.

- **Mener une expérimentation** visant à mieux caractériser le débit seuil de mise en mouvement des particules d'intérêt à l'aide de traceurs sédimentaires peints. Cette expérimentation s'est

faite au droit des plaques d'impacts et a été associée à des mesures de vitesses d'écoulement de surface ainsi qu'à des prélèvements granulométriques sur les sites instrumentés.

La campagne d'expérimentation par particules peintes s'est déroulée du 20 au 22 janvier 2025.

Les 4 sites sont les suivants :

- Le Pont de Gys, à cheval entre les communes Le Biot et La Baume (74), qui est le site amont, ci-après nommé site 1.
- Les sites aval
 - Le lieu-dit les Raffaux, au bord de la route départementale D902, à cheval entre les communes de Féternes et de Reyvroz (74), ci-après nommé site 2
 - Le lieu-dit Bois Chevaillères ; toujours au bord de la D902, à l'amont de la zone désignées comme les gorges de la Dranse par l'IGN, sur la commune de Féternes (74), ci-après nommé site 3
 - La zone en tresse au lieu-dit Branlecul, en contrebas des vignes de Pont, sur la commune de Marin (74), ci-après nommé site 4

Les emplacements ont été choisis pour la nature de leurs granulométries. La Dranse est une rivière de montagne de pente importante (1.5/1.8 % dans la zone en gorge), montrant en de nombreux endroits des faciès d'écoulement torrentiels. La présence de substrats de granulométrie type graviers grossiers à cailloux grossiers, généralement considérés comme favorables à la fraie de la truite, n'est pas fréquente. Ces 4 sites sont ceux présentant les granulométries les plus proches de la granulométrie cible repérés lors des visites de terrain préalables.

4.2.1. Instrumentation du site 1 (Pont de Gys)

La plaque du site 1, dénommée P1, a été installée le 29/10/2024 à l'aval du Pont de Gys, en milieu de chenal, sur une zone présentant une granulométrie proche de la granulométrie de fraie (Figure 41, Annexe 1).

Un capteur de pression atmosphérique (à l'air libre) et un capteur de pression totale (atmosphérique + hydrostatique, immergé) ont été installés sur ce site. L'installation s'est faite à un débit de $3.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à la station de Pont de Couvaloup.

4.2.2. Instrumentation du site 2 (Les Raffaux)

La plaque du site 2, dénommée P2, a été installée dans le chenal, proche de la rive droite, sur le flanc d'un banc d'alluvions relativement fins, de type graviers fins à cailloux fins, déposés sous l'influence de la présence d'un très gros rocher à son droit à l'amont (Figure 39). La présence de ce type de dépôts, très rare sur la Dranse, rendait opportune l'installation de la plaque P2 à cet endroit. Son installation s'est faite à un débit de $8.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à la station de Reyvroz (Bioge). La granulométrie du site équipé est visible en Annexe 2.

4.2.3. Installation du site 3 (Bois Chevaillères)

La plaque du site 3, dénommée P3, a été installée dans le chenal, proche de la rive droite, à un emplacement montrant une granulométrie proche de la granulométrie cible.

La présence d'un très gros rocher et d'une mouille à l'amont rendait l'installation d'un capteur de pression aisée sur ce site pour la surveillance des niveaux d'eau pour les stations à l'aval de la retenue du Jotty. L'instrumentation s'est faite à un débit variant entre 6 et $7.1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à la station de Reyvroz (Bioge).

4.2.4. Installation du site 4 (Branlecul)

La plaque du site 4, nommé P4 ; a été installée au pied des vignes de Pont, sur un chenal secondaire de la zone en tresse, située sur la partie droite de la bande active Figure 39). L'emplacement sur la zone en tresse a été choisi au regard de la granulométrie, la plus proche possible de la granulométrie cible, bien qu'elle ne soit toutefois pas complètement représentative, du fait de l'absence de zone de dépôts de graviers grossiers et cailloux fins nettement identifiable. La granulométrie du site équipé est visible en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Son installation s'est faite à un débit variant entre 9 et 5.6 m³.s⁻¹ à la station de Reyvroz (Bioge).

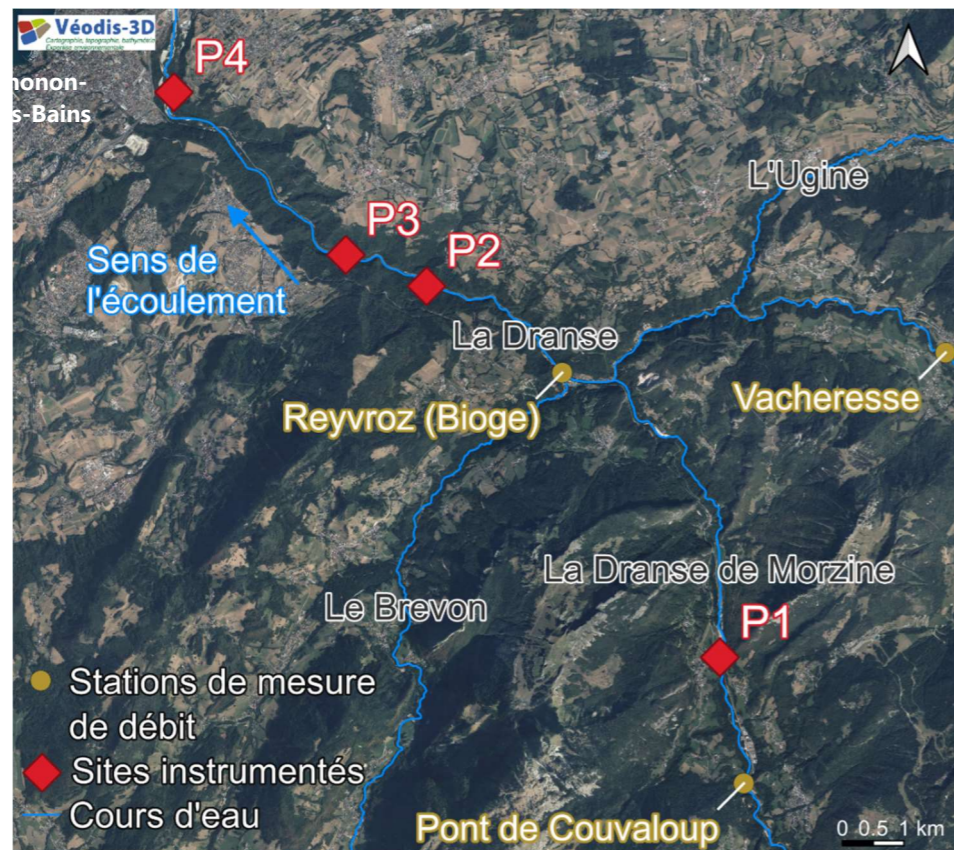


Figure 38 - Carte de localisation des plaques d'impacts et secteurs de suivi de la mobilité.



Figure 39 - (A) Plaque installée sur le site P2 à l'affleurement du substrat, à l'aval d'un rocher favorisant le dépôt de SGF, (B) Plaque installée sur le site P4 à l'affleurement du substrat.

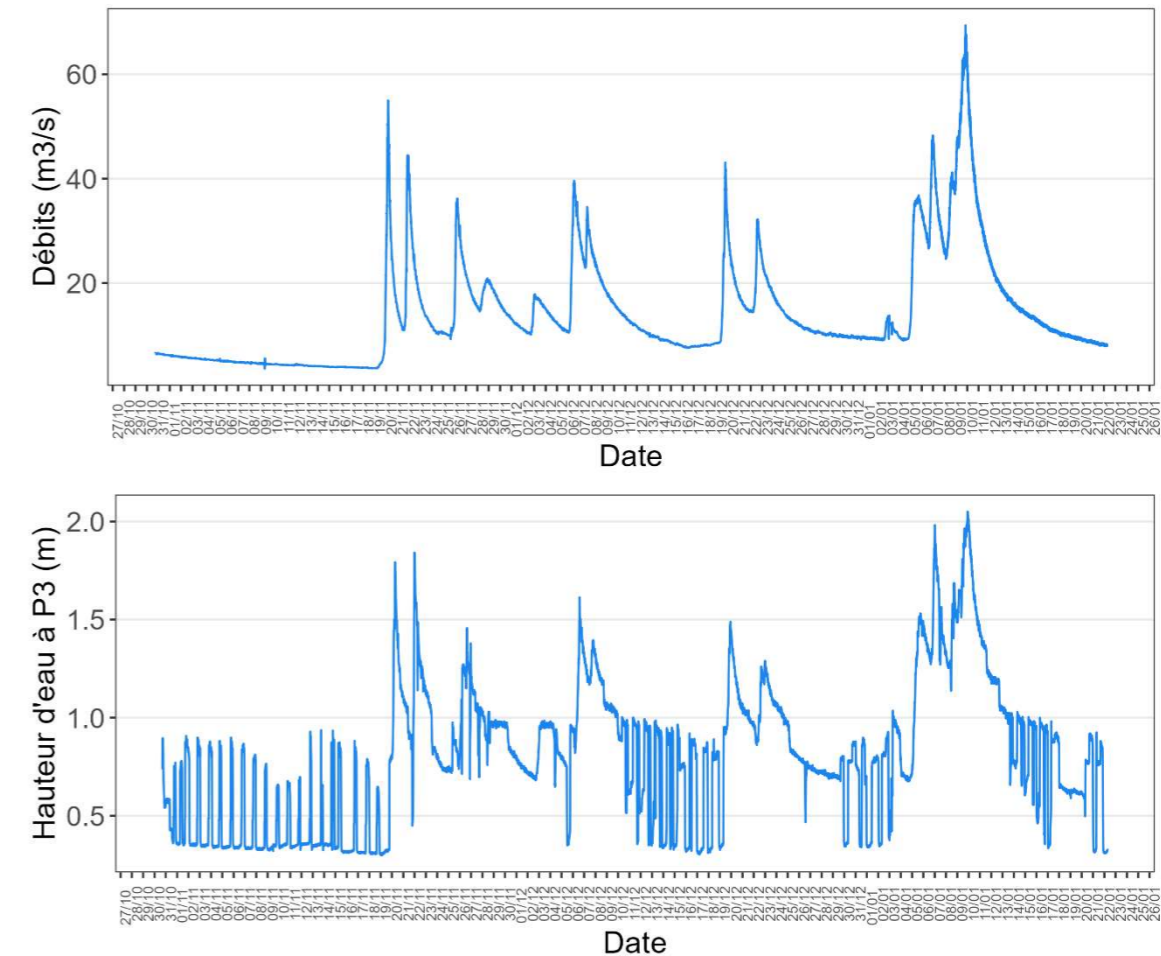


Figure 40 - Hydrogramme de la Dranse des débits entrants à Bioge reconstitués (en haut) et de la profondeur du limnimètre placé à P3 (en bas) (aval retenue) sur la période d'étude.

4.3. Description des résultats

Dans ce paragraphe, nous présentons :

- Un bref descriptif de l'état de chaque installation après la période d'étude.
- Une description détaillée de l'expérimentation menée à l'aide des traceurs sédimentaires.

Les résultats des analyses granulométriques et des mesures de vitesses d'écoulement sont disponibles en annexes.

Au total, les plaques d'impacts et les capteurs de pression sont restés en place sur les sites pendant 84 jours.

4.3.1. Etat de l'installation

4.3.1.1. Site 1 : Pont de Gys

Lors de notre visite de terrain sur le site de Pont de Gys, la plaque d'impact n'a pas été retrouvée malgré une fouille à la pelle a été effectuée à l'emplacement de son installation, jusqu'à une profondeur de 20 cm et une recherche minutieuse sur le radier en aval. Il est donc probable qu'elle ait été emportée par les crues ayant eu lieu au cours de la période d'étude (Figure 40).



La veille du retrait des capteurs de pression, 50 particules peintes ont été injectées à l'emplacement de la plaque P1, installée en octobre 2024, dans le cadre de l'expérimentation sur la mobilité des particules.

La chronique des variations de hauteur d'eau enregistrée est présentée en Figure 40. Nous avons observé un bouchon de sédiments formé dans le tube PVC.

La granulométrie du site ne semblait pas avoir changé depuis notre première visite. Toutefois, l'opérateur circulant dans le cours d'eau a perçu un substrat récemment mobilisé, plus meuble sous le pied. L'inspection s'est déroulée avec un débit d'environ $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, un niveau auquel les alluvions ne semblaient pas atteindre leur seuil de mise en mouvement, restant en place malgré les perturbations.

4.3.1.2. Site 2 : Les Raffauxé

Sur le site 2, la plaque d'impact a été retrouvée, et les résultats des enregistrements sont présentés sur la Figure 44. Comme pour le site 1, la granulométrie du site ne semblait pas différente de lors de notre première visite, mais l'opérateur circulant dans le cours d'eau avait la sensation d'un substrat récemment mobilisé, meuble sous le pied. On remarque toutefois l'engraissement des dépôts sur le flanc desquels la plaque a été installée. La visite s'est faite au cours d'une écluse à un débit de $19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ auquel les alluvions ne semblaient pas être au seuil de mise en mouvement, ne partant pas avec le courant lorsqu'elles étaient bousculées.

La veille du retrait de la plaque, 70 particules peintes ont été injectées au droit de la plaque, dans le cadre de l'expérimentation sur la mobilité des particules.

4.3.1.3. Site 3 : Bois Chevaillères

Sur le site 3, la plaque d'impact n'a pas été retrouvée. Il n'a pas été possible de conduire des fouilles à la pelle du fait de la dangerosité à circuler dans le cours d'eau, la visite du site s'étant faite durant une écluse à $19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Nous avons été en mesure de parcourir la Dranse pour rechercher la plaque sur une distance d'une vingtaine de mètres vers l'aval, sans succès.

Lors de cette visite, l'accès au capteur de pression était impossible en raison de la mobilisation des matériaux sédimentaires, qui a créé une fosse. Le capteur a finalement été retiré depuis une embarcation le 05/02/2025, lors d'une mission complémentaire.

Comme pour les sites précédents, la granulométrie du site ne semblait pas différente de lors de notre première visite, mais l'opérateur circulant dans le cours d'eau avait la sensation d'un substrat récemment mobilisé, meuble sous le pied.

Nous n'avons pas pu injecter de particules colorées du fait des conditions hydrauliques trop dangereuses.

4.3.1.4. Site 4 : Branlecul

Au site 4, la plaque d'impact a été retrouvée dans la même position que lors de son installation, elle n'a pas bougé durant la période d'étude. Les résultats sont visibles en Figure 44.

La granulométrie ne semblait pas différente de lors de notre première visite, mais l'opérateur circulant dans le cours d'eau avait la sensation d'un substrat récemment mobilisé, meuble sous le pied. La visite s'est faite au cours d'une écluse à un débit de $19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ auquel les alluvions ne semblaient pas être au seuil de mise en mouvement, ne partant pas avec le courant lorsqu'elles étaient bousculées.

Dans le cadre de l'expérimentation sur la mobilité des particules, le 20/01/2025 en fin d'après-midi, 50 particules peintes ont été injectées à un débit de $19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. A 12h, le 21/01/2025, 20 particules supplémentaires ont été injectées à un débit de $19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

4.3.2. Description de l'expérimentation galets colorés

L'expérimentation a été conduite sur les sites 1, 2 et 4, le site 3 étant inaccessible du fait des conditions hydrauliques lors de notre visite.

L'objectif de l'expérimentation était de raffiner la détermination du débit seuil de mise en mouvement des particules et d'évaluer l'impact d'une ou plusieurs éclusées sur la mobilité sédimentaire. Initialement, il était prévu d'injecter les traceurs sur les sites à l'aval du barrage du Jotty au débit réservé et d'évaluer la présence ou l'absence de mobilité après le passage d'une écluse. Le site 1, situé à l'amont de la retenue, sert de site de contrôle.

Les particules sont prélevées dans le milieu naturel et peintes au laboratoire à l'aide de bombes de peinture fluorescente de chantier. La granulométrie des particules injectées est visible en Figure 42. Lors de notre visite de terrain, les conditions de débits n'étaient pas réunies pour réaliser l'expérimentation de la manière prévue. EDF a procédé à une série d'écluse au cours des journées des 20, 21 et 22 janvier 2025, empêchant ainsi d'injecter les particules au débit de base. Par conséquent, sur le site 2, les particules ont été injectées à un débit de $19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à la station de Reyvroz (Bioge).

Sur le site 4, les particules ont été injectées en deux fois, à des débits de 15 et $19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Sur le site 1, les particules ont été injectées à un débit de $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Sur chaque site, les particules ont été injectées manuellement, une par une. Elles ont été légèrement enchâssées dans le substrat. Leur disposition dans les alluvions est visible en Figure 41 et une photographie des points d'injections des sites 1, 2 et 4 en Figure 42.

Les particules à P1 ont été injectées le 20/01/2025 à 15h et retirées le 21/01/2025 à 9h.

Les particules à P2 ont été injectées le 21/01/2025 à 11h et retirées le 22/01/2025 à 09h50.

A P4 50 particules ont été injectées le 20/01/25 à 17h30 et 20 particules supplémentaires ont été injectées le 21/01/2025 à 12h. L'ensemble des particules a été retiré le 22/01/2025 à 8h30.

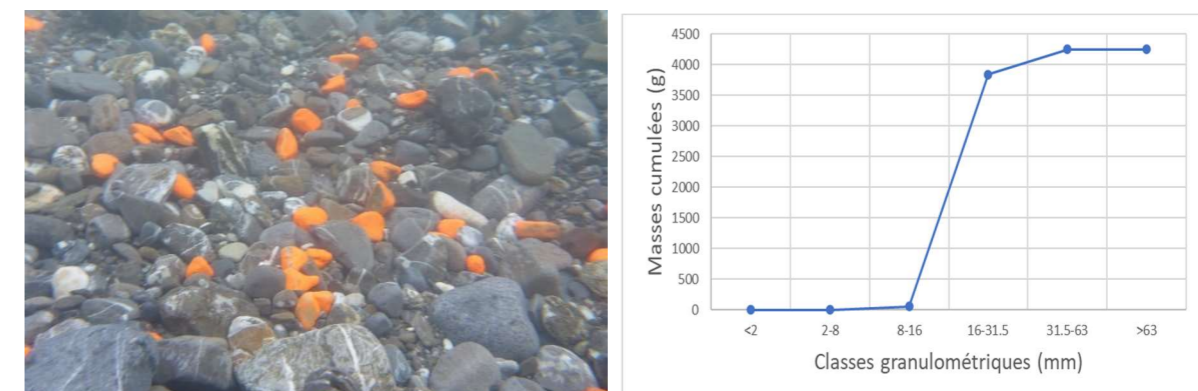


Figure 41 –(A) Particules peintes disposées sur le substrat, (B) Courbe des masses cumulées des classes granulométriques des particules peintes injectées.

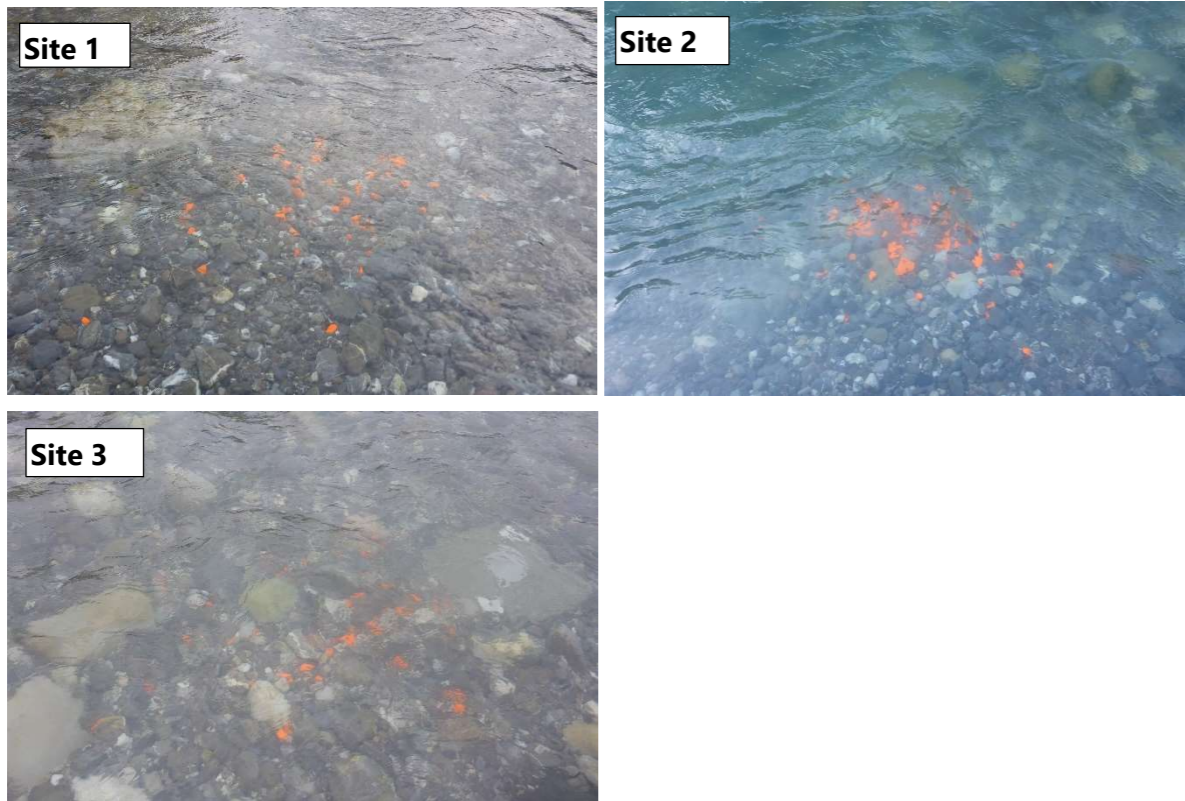


Figure 42 - Photographies des points d'injections des particules peintes sur les sites 1, 2 et 4.

4.4. Analyse des résultats

4.4.1. Données de hauteur d'eau sur le site 1

Les données de hauteur d'eau issues des capteurs du site 1 sont visibles sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** On observe, en comparaison avec la chronique de débits au pont de Couvaloup, des valeurs de hauteur d'eau pour un même débit différentes entre le début et la fin de la période de mesure.

Par ailleurs, les valeurs en fin de période de mesure sont incohérentes, de l'ordre de 4 à 5 cm alors même que les opérateurs dans le cours d'eau étaient immergés jusqu'aux genoux. Il semble donc que le bouchon de sédiments qui s'est formé au cours de la période de mesure, probablement durant les crues les plus fortes qui ont pu amener du sable dans le tube, ait empêché le tube de se remplir. Cela explique des valeurs de hauteur d'eau incohérentes.

4.4.2. Données de hauteur d'eau sur le site 3

Les données de hauteur d'eau issus des capteurs du site 3 sont visibles en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** (en haut). Ces valeurs ne souffrent pas du même phénomène de formation d'un bouchon sableux dans le tube que celles du site 1. Elles sont par conséquent utilisées comme hydrogramme de référence pour les variations de débits à l'aval de la retenue.

4.4.3. Données des plaques d'impact

Les données issues des plaques d'impact sont visibles et mises en comparaison avec la chronique de débit à Reyvroz sur la période d'étude sur la Figure 44.

On observe plusieurs périodes d'activité importantes détectées par les plaques d'impacts au cours de la période d'étude. Ces périodes correspondent aux événements hydrologiques naturels ayant obligé EDF à opérer des déversements.

On constate que pour les mêmes événements, la plaque P2 montre une réponse généralement moins importante que la plaque P4, qu'il s'agisse du nombre d'impacts comptés ou de la durée des périodes d'activité.

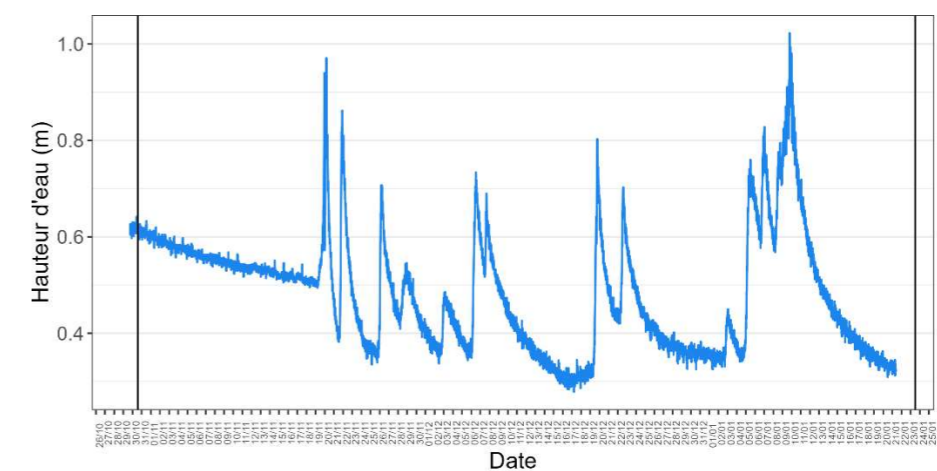


Figure 43 - Limnigramme obtenu à partir du traitement des données de pression des capteurs du site 1.

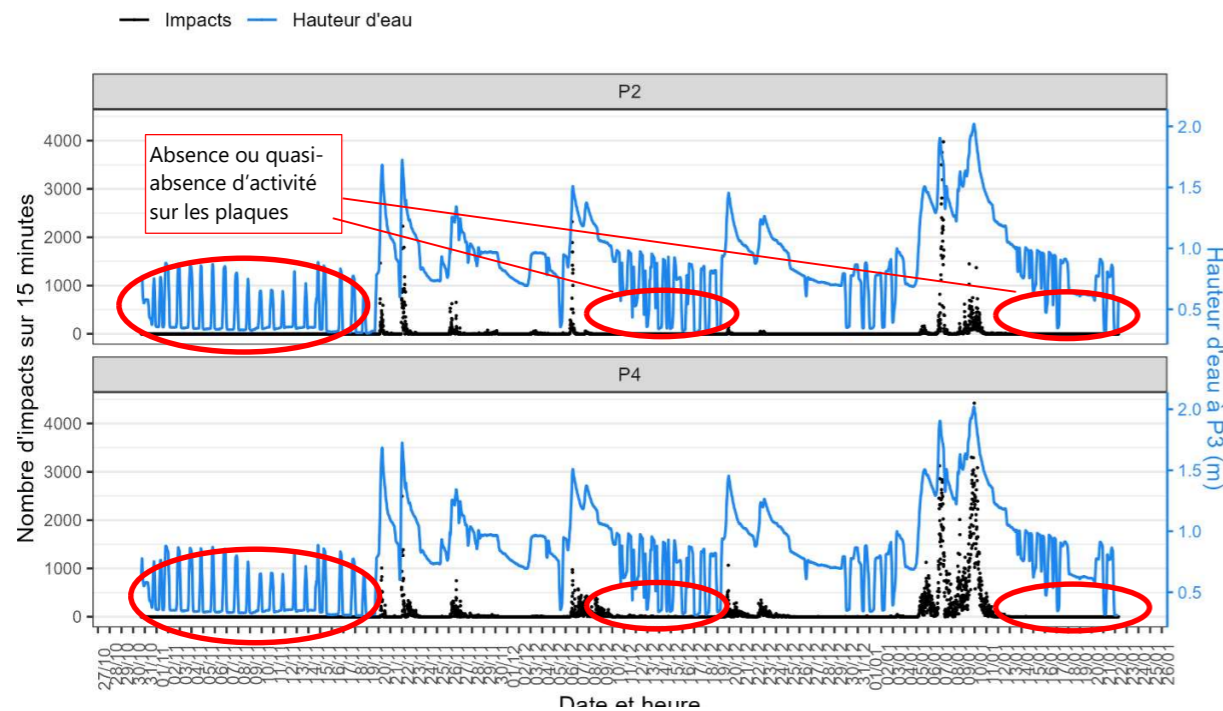


Figure 44 - Chronique du nombre d'impacts sur 15 minutes détectés par les plaques P2 et P4 au cours de la période d'étude.

Le nombre d'impact détectés monte jusqu'à plus de 4420 impacts sur 15 minutes à P4 et jusqu'à 3975 à P2, soit respectivement, à titre de comparaison avec des valeurs issus d'autres sites d'études, 1473 et 1325 impacts sur 5 minutes. Pour exemple, sur la Bourne, dans des conditions similaires, nous avons observé au maximum 80 impacts sur 5 minutes.

Le nombre total d'impacts détectés durant la période de mesure est de 167 427 sur P2 et de 501 829 sur P4 soit 3 fois plus sur P4 que sur P2. Cela confirme que la plaque P2 montre une activité moins importante que la plaque P4.

Concernant le rôle joué par les éclusées dans les impacts détectés par les deux plaques, on observe en Figure 44 une absence ou une quasi-absence apparente d'activité sur les plaques P2 et P4 durant les périodes de débits entièrement artificialisés. Toutefois, à cette échelle, il est possible de manquer une réponse des plaques aux éclusées qui soit moins importante que celle aux crues d'origine naturelle. Nous proposons donc, afin de mieux délimiter le rôle des éclusées dans le transport sédimentaire, de définir les périodes dites « d'éclusées » de manière plus objective en comparant les débits de la station de Reyvroz (Bioge), c'est-à-dire les débits au sortir de l'usine de Bioge, et les débits naturels reconstitués.

Pour reconstituer les débits naturels, nous réalisons la somme des débits mesurés aux stations de pont de Couvaloup et de Vacheresse, respectivement sur la Dranse de Morzine et la Dranse d'Abondance (Figure 45). Ces deux cours d'eau sont les principaux tributaires de la Dranse à Reyvroz, bien que les débits de l'Ugine et du Brevon soient manquants pour reconstituer totalement la chronique de débits naturels. Toutefois, la dynamique hydrologique reconstituée devrait être proche ou identique de la dynamique naturelle réelle.

Pour définir les périodes « d'éclusée », nous comparons donc la dynamique des débits naturels reconstitués et celle des hauteurs d'eau mesurées à la plaque P3. Nous définissons alors les périodes d'éclusées comme les périodes où les variations de hauteurs d'eau sont strictement contrôlées par les éclusées de l'usine de Bioge. Les périodes où les variations de hauteurs d'eau sont visiblement contrôlées

par les hausses de débits naturels que la retenue n'a pas pu retenir sont dès lors définies comme période « de crue ».

Il est arrivé que durant les périodes de crues EDF opère des manœuvres d'écrêtage temporaire, pour remplir la retenue ou bien turbiner. Même s'il s'agit alors de hauteurs d'eau artificialisées, nous considérons ces périodes comme n'étant pas des périodes « d'éclusées », les valeurs de hauteurs d'eau en question étant supérieures aux valeurs typiques durant les éclusées et l'origine de leur variation étant naturelle.

Les débits naturels reconstitués et les périodes ainsi délimitées sont visibles en Figure 45. Les dates représentant les limites des périodes d'éclusées sont visibles en Tableau 5.

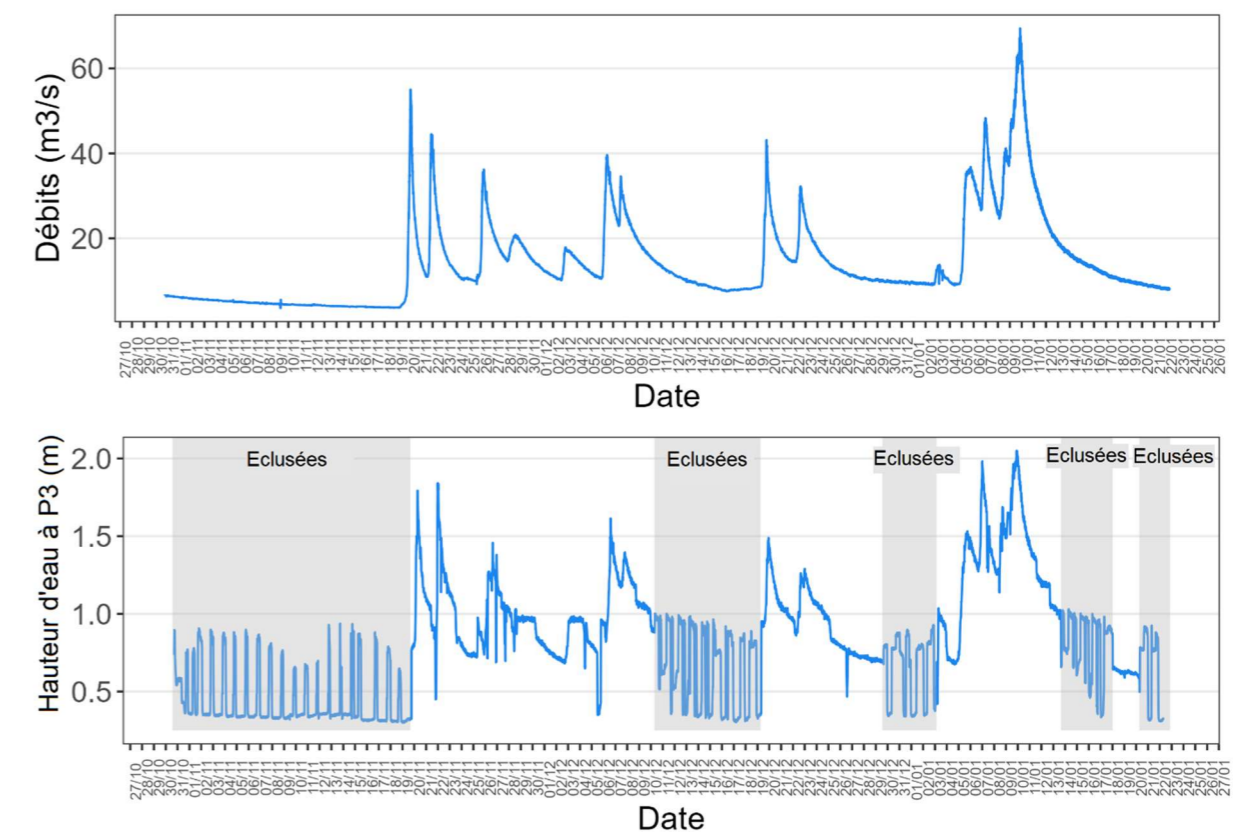


Figure 45 - Reconstitution des débits naturels (en haut) et délimitation des périodes d'éclusées (en bas).

Tableau 5 - Dates de définition des périodes d'éclusées.

Période	Début (UTC +1)	Fin (UTC +1)
Période 1	30/10/24 14:00	19/11/24 16:10
Période 2	10/12/24 07:10	19/12/24 06:20
Période 3	29/12/24 13:40	03/01/25 03:00
Période 4	13/01/25 16:00	18/01/25 00:20
Période 5	20/01/25 06:30	22/01/25 20:40



En s'intéressant uniquement aux périodes « d'éclusées » ainsi délimitées, on observe au total 23 impacts sur P2 et 1397 impacts sur P4, soit respectivement 0.01 % et 0.28 % du nombre d'impacts total comptés par chacune des plaques sur la période de mesure complète. Il apparaît donc que dans les conditions dans lesquelles ont été effectuées les éclusées durant la période d'étude, et proportionnellement au transport solide naturel, elles aient un impact nul ou négligeable sur le transport solide total.

4.4.4. Analyse des différentes périodes d'éclusées et des débits seuils de mise en mouvement

On observe en Figure 46 que la relation débit/transport solide est différente selon les périodes d'éclusée, et ceci sur les plaques P2 et P4.

En effet, sur P2, on observe quelques impacts sur la première période d'éclusées à une hauteur d'eau comprise entre 0.8 et 1 m, soit entre 20 et 25 $m^3.s^{-1}$. Aucun autre impact n'est détecté durant les autres périodes d'éclusées, peu importe le débit.

Sur P4, on observe le début des impacts aux alentours de 0.75 m de hauteur d'eau, soit 17.5-20 $m^3.s^{-1}$ durant la 3^{ème} période d'éclusées et même à des hauteurs inférieures durant la 2^{ème} période d'éclusées. On observe aussi quelques points sur la période 2 à des débits inférieurs à 10 $m^3.s^{-1}$. Sur les autres périodes, pour des hauteurs allant de 0.2 à 1 m soit des débits allant de 3 à 25 $m^3.s^{-1}$, aucune activité au presque n'est observée.

Ainsi, si sur la totalité de la période de mesure l'activité enregistrée durant les périodes d'éclusées représente un très faible pourcentage du total des impacts, ces derniers se sont produits à des intensités répartis non-uniformément dans le temps. En réalité, sur la période d'éclusées 2, on observe jusqu'à 30 impacts sur 15 minutes soit 2 impacts par minutes.

S'il appartient au gestionnaire d'évaluer l'impact qu'une intensité de transport solide de ce niveau peut avoir sur la fraie de la truite, espèce cible, il semble qu'il existe un débit seuil de mise en mouvement différent entre les deux emplacements étudiés.

Dans les gorges, à l'aval d'un rocher permettant le dépôt de sédiments propices à la fraie, le débit seuil de mise en mouvement n'a pas été atteint durant les périodes d'éclusées au cours de la période d'étude.

A l'aval des gorges, dans la zone en tresse, ce débit a plusieurs fois été atteint, bien que les intensités de transport mesurées soient faibles en comparaison des périodes de crue naturelles.

Il semble donc se dégager, en tous cas dans la partie aval en tresse, un débit seuil de mise en mouvement situé aux alentours de 15 à 17.5 $m^3.s^{-1}$, bien que ce débit seuil montre des variations au cours de la période étudiée.

4.4.5. Analyse des périodes de crue naturelles et des débits seuils de mise en mouvement

On observe sur la Figure 46 que la relation entre débit et transport solide est différente entre P2 et P4 durant les périodes de crue naturelles. On observe aussi que la relation entre débit et transport solide semble varier au cours de la période de mesure sur P2, alors qu'elle semble rester homogène sur P4.

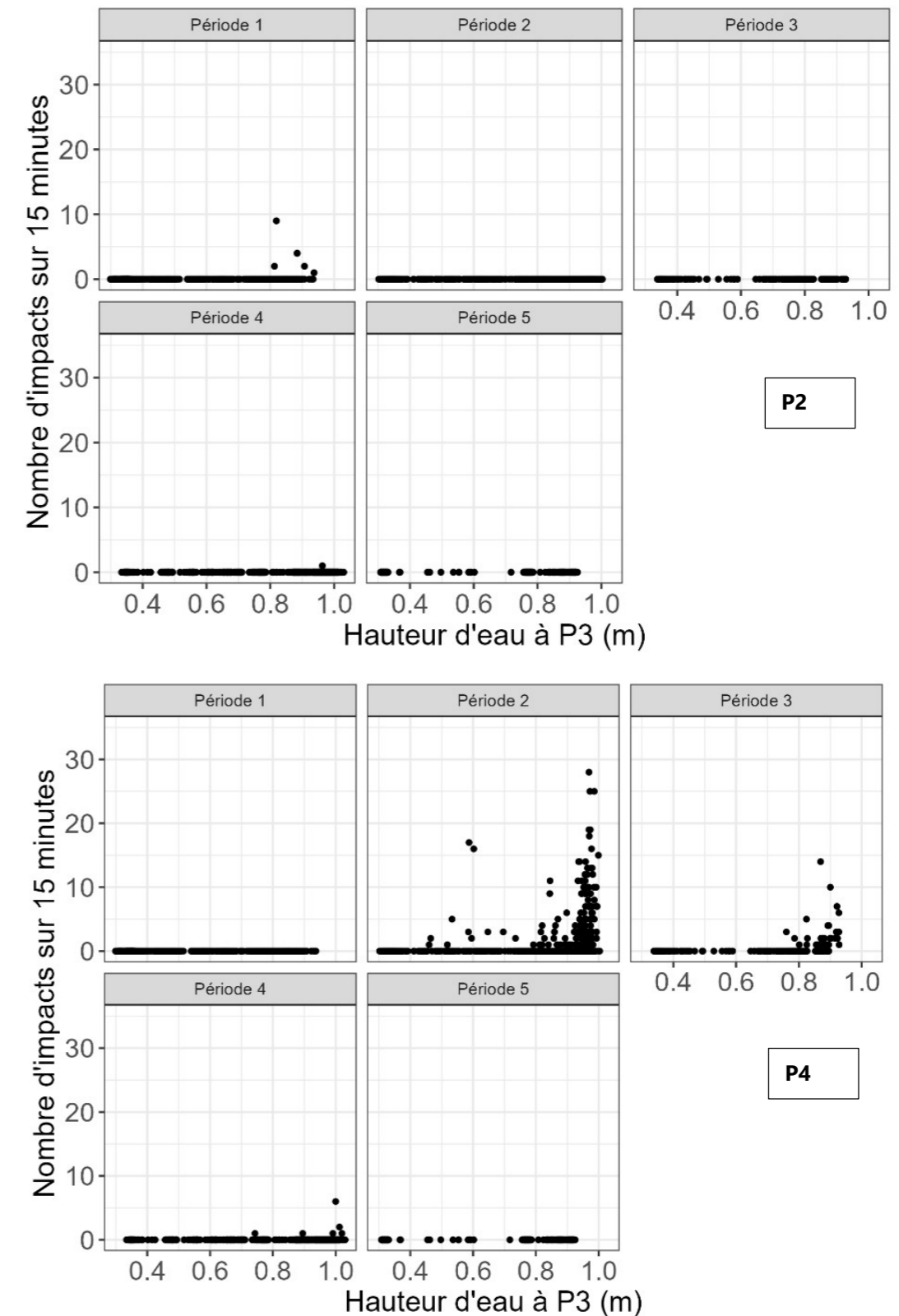


Figure 46 : Relation entre débit et nombre d'impacts sur les plaques P2 et P4, selon les périodes d'éclusées. En haut P2, en bas P4.



En effet, sur P2, on observe un transport solide marqué à partir de 1 m de hauteur d'eau soit environ $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ durant le début de la période de mesure, marqué par les valeurs colorées en bleu foncé. Ce débit seuil apparaît plus élevé au fur et à mesure que la période de mesure avance, avec une activité importante commençant aux environs de 1.5 m de hauteur d'eau soit $50\text{-}55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ sur la seconde partie de la période de mesure. On observe par ailleurs des pics d'activité concernant un faible nombre de points entre 1.2 et 1.75 m de hauteur d'eau soit entre 40 et $75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, sortant de la relation apparente entre débit et transport solide sur P2. Il pourrait s'agir de points de mesure correspondant à la phase montante ou la phase descendante des événements hydrologiques, ou bien de points acquis durant des événements hydrologiques ayant montré une réaction du transport sédimentaire différente de celle des autres aux montées de débit.

Sur P4, on observe un seuil distinct d'intensification de l'activité de transport solide situé à 1 m de hauteur d'eau soit $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Toutefois, à la différence de P2, ce seuil semble constant tout au long de la période de mesure. Aussi, il ne semble pas y avoir de points situés en dehors de la relation apparente entre débit et transport solide, là encore à la différence de P2.

Tout comme pour les mesures effectuées en période d'éclusée, les deux plaques ne montrent pas le même comportement du transport solide lors des montées de débit.

La Figure 48 montre la relation entre débit et transport solide des plaques P2 et P4 en faisant la distinction entre les phases de montées et de descente des crues. On constate que la relation entre débit et impacts semble homogène entre les phases croissante et décroissante des crues sur P4, alors qu'il apparaît que la phase décroissante montre une activité plus importante du transport solide à P2, avec des comptes d'impacts plus importants. Les points en dehors de la relation apparente entre débit et nombre d'impacts sont toujours présents, sur les deux phases, sur P2. Il semblerait donc bien qu'il s'agisse de points correspondant à des événements hydrologiques individuels.

Afin de tester cette dernière hypothèse, on représente la relation entre débit et nombre d'impacts en séparant chacun des événements de crue. La délimitation des événements sur l'hydrogramme est visible en Figure 49 et les dates précises de début et de fin de chaque événement en Tableau 6.

Tableau 6 : Dates de définition des événements de crue

Crues	Début (UTC +1)	Fin (UTC +1)
Evènement 1	19/11/24 16:20	21/11/24 18:00
Evènement 2	21/11/24 18:30	25/11/24 21:00
Evènement 3	25/11/24 21:10	02/12/24 15:00
Evènement 4	02/12/24 17:10	05/12/24 17:00
Evènement 5	05/12/24 17:30	07/12/24 12:00
Evènement 6	07/12/24 12:30	10/12/24 06:30
Evènement 7	19/12/24 06:40	22/12/24 05:00
Evènement 8	22/12/24 05:10	29/12/24 12:30
Evènement 9	04/01/25 22:40	06/01/25 15:30
Evènement 10	06/01/25 15:40	08/01/25 10:00
Evènement 11	08/01/25 10:10	13/01/25 15:30

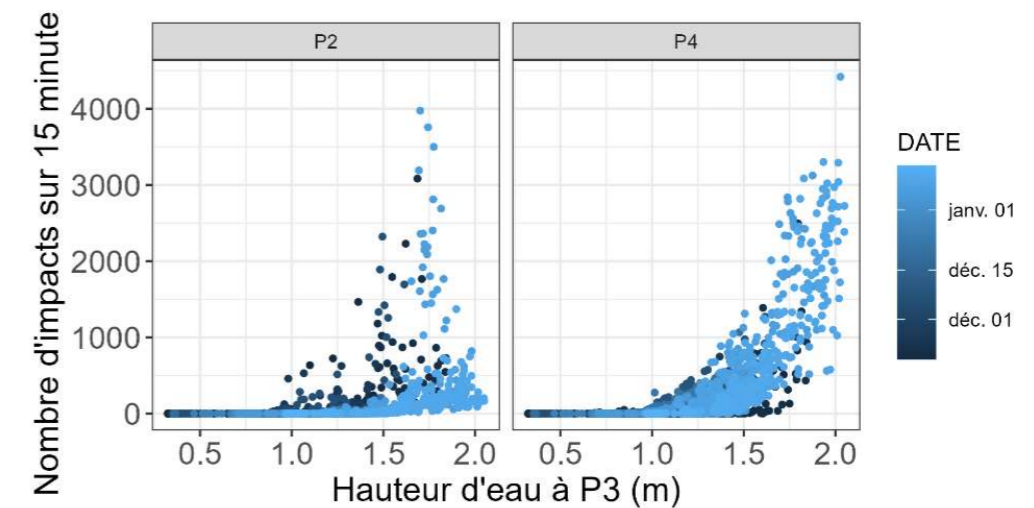


Figure 47 : Relation entre hauteur d'eau et nombre d'impacts durant les périodes de crue naturelles sur P2 et P4. Le gradient de couleur des points symbolise la date.

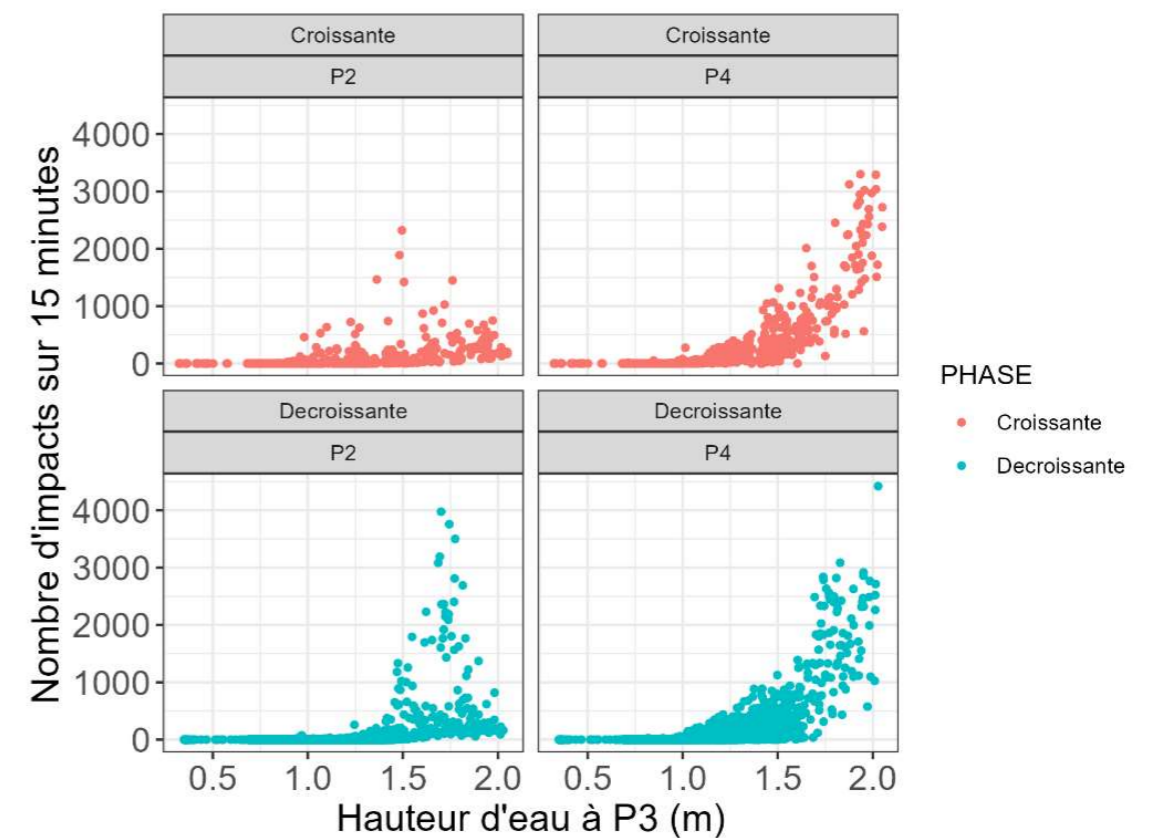


Figure 48 : Relation entre hauteur d'eau et nombre d'impacts durant les périodes de crue naturelles sur P2 et P4. Les phases de montée et de descentes des différents événements ont été séparées.

On observe sur la Figure 47 que la relation entre hauteur d'eau et nombre d'impacts semble cohérente toute au long de la période de mesure sur la plaque P4 alors qu'elle semble varier selon les événements hydrologiques sur la plaque P2.

En effet, si l'on observe pas la même gamme de hauteur d'eau selon chaque événement de crue, la réponse de P4 est la même ou quasiment la même en terme de nombre d'impacts. Seuls les événements



6 et 7 semblent montrer un début d'intensification du transport solide à une hauteur d'eau légèrement inférieure que les autres événements, situés aux alentours de 0.8 m soit à un débit légèrement en dessous de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, alors que les autres événements montrent une hauteur d'eau seuil comprise entre 1.1 et 1.2 m soit entre 25 et $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Sur la plaque P2, en revanche, on observe une relation du nombre d'impacts à la hauteur d'eau variable entre les événements de crue. Particulièrement, les événements 2, 5 et 10, et dans une moindre mesure les événements 1 et 3, montrent des valeurs de nombre d'impacts sur 15 minutes largement supérieures à tous les autres événements pour des hauteurs d'eau équivalentes. Les événements 2, 5 et 10 sont ceux montrant les valeurs de nombre d'impacts sortant visiblement de la relation générale mentionnés précédemment, visibles sur les figures Figure 47 et Figure 48. La hauteur d'eau seuil de mise en mouvement semble être de 1.5 m soit $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour le cas général.

Ces variations ponctuelles de la relation entre hauteur d'eau (et par conséquent débit) et nombre d'impacts à P2 indiquent que les seuls paramètres hydrauliques ne suffisent pas à expliquer le transport solide, ce qui semble être le cas à P4. Les deux sites diffèrent par leur configuration : P2 est situé dans les gorges de la Dranse, en bordure de chenal unique, à l'aval d'un bloc favorisant le dépôt de particules comprises dans la gamme graviers grossiers à cailloux grossiers, alors que P4 est situé au centre d'un chenal secondaire d'une zone en tresse. Les zones en tresses se forment lorsque : (i) un fort stock de sédiments est disponible, (ii) l'hydraulicité du cours d'eau est importante, relativement à la granulométrie du stock de sédiments disponibles et (iii) lorsque la bande active n'est pas contrainte en largeur. On peut donc envisager que la constance dans la réponse de la plaque P4 aux variations de débits soit conséquence du fait qu'il y existe un stock de sédiments virtuellement inépuisable mis en mouvement selon un modèle de « tapis roulant ». A P2, il est possible que la réponse du transport solide, en tous cas sur la gamme de granulométrie étudiée, soit limitée par la disponibilité d'un stock de sédiments à mobiliser. La granulométrie cible se trouve rare dans les gorges, d'où le choix d'instrumenter à l'aval d'un bloc favorisant son dépôt, et il est possible que le stock disponible fluctue au gré des crues.

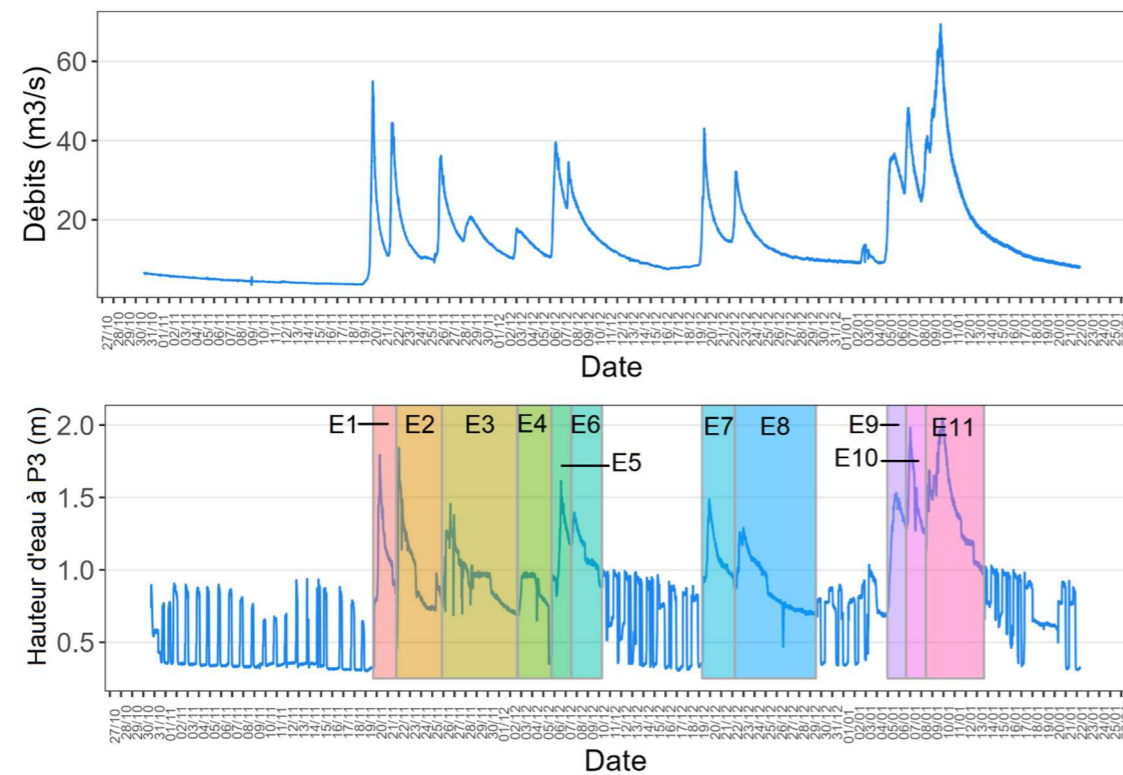


Figure 49 : Reconstitution des débits naturels (en haut) et délimitation des périodes de crues (en bas).

4.5. Conclusion sur les données issues des plaques d'impact

Les observations précédentes permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Comparées aux crues naturelles, les éclusées entraînent une mobilité sédimentaire très limitée.
- À P2, le débit seuil de mise en mouvement n'est pas atteint lors des éclusées. À P4, il se situe entre 17.5 et $21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, bien que de rares observations aient relevé des impacts comptabilisés à des débits inférieurs à $15 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Les crues naturelles sont responsables de la quasi-totalité du transport solide mesuré, représentant 99,99 % des impacts à P2 et 99,78 % à P4.
- Les réponses de P2 et P4 aux variations de débit diffèrent. P4 présente une réponse constante tout au long de la période de mesure, alors que P2 montre une réponse fluctuante selon les événements hydrologiques, probablement liée à la variation du stock de sédiments disponibles à P2 entre les crues.
- Lors des crues naturelles, le débit seuil de mise en mouvement est estimé à environ $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à P2 et entre 20 et $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à P4.

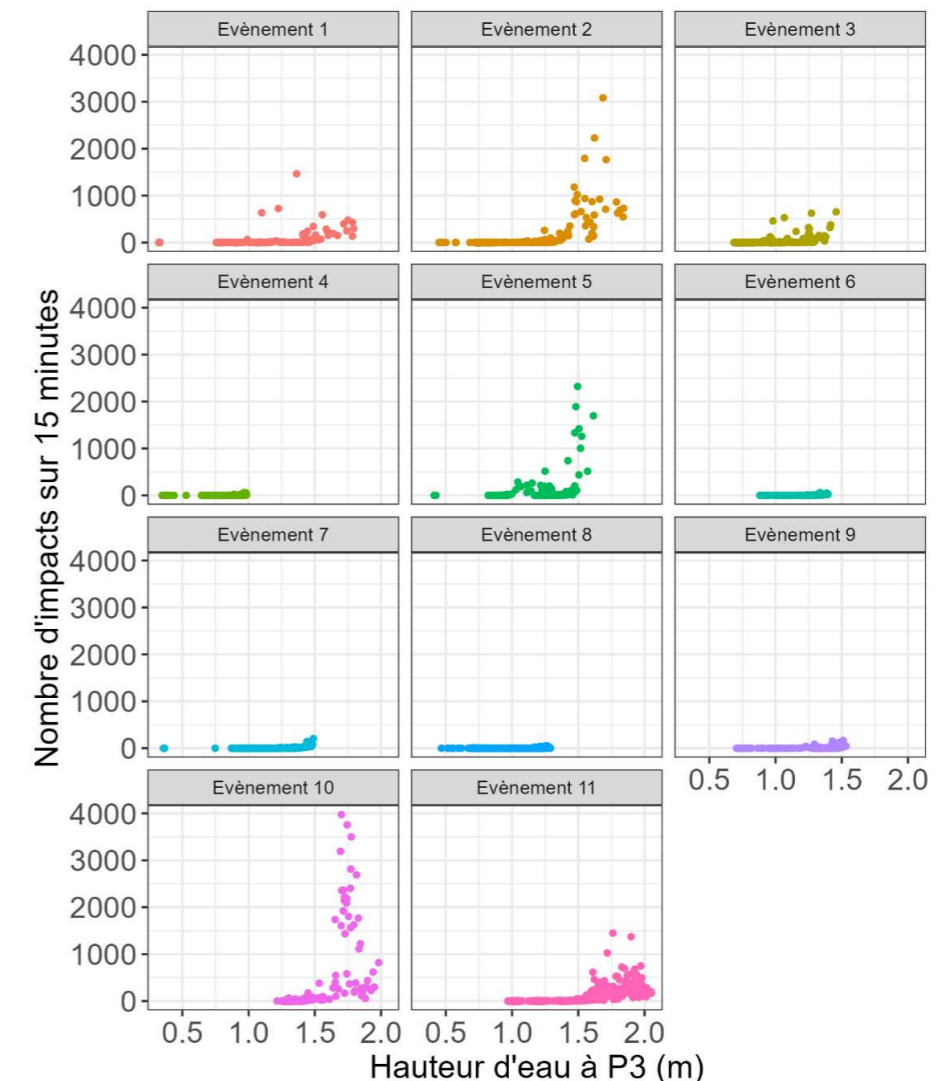


Figure 50 : Relation entre hauteur d'eau et nombre d'impacts à P2 selon l'évènement de crue.

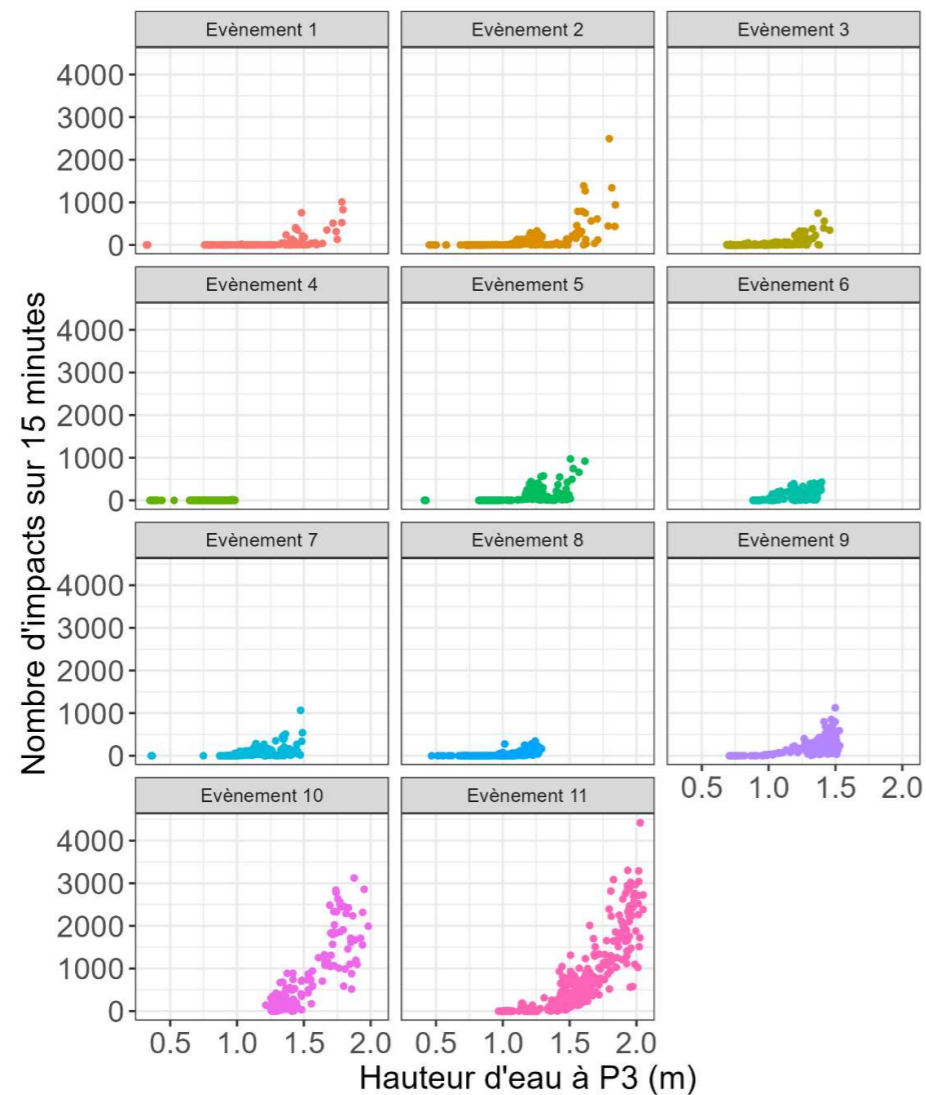


Tableau 7 - Relation entre hauteur d'eau et nombre d'impacts à P4 selon l'évènement de crue.

4.6. Conclusion du traçage sédimentaire

L'hydrogramme de la Dranse de Morzine au pont de Couvaloup et l'hydrogramme de la station EDF de Reyvroz (Bioge) durant la période d'exposition des traceurs sont visibles en Figure 51.

A P1, P2 et P4, aucun traceur sédimentaire n'a bougé durant leur période d'exposition (Figure 52).

A P1, cette observation est conforme aux attentes étant donné que la Dranse était en descente de crue et au retour à des débits correspondant aux basses eaux hivernales (Figure 51), et que les débits n'ont fait que diminué entre le moment de l'injection des particules et le moment de leur retrait.

A P2 et à P4, l'absence de mouvement des traceurs est cohérente avec les débits seuil de mise en mouvement évalués lors de l'analyse des données des plaques d'impacts et du limnimètre installé à P3. En effet, le débit seuil identifié à P2 est de $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et celui à P4 compris entre 20 et $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et les débits mesurés à Bioge sur la période d'exposition des traceurs colorés sont compris entre 3 et $21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

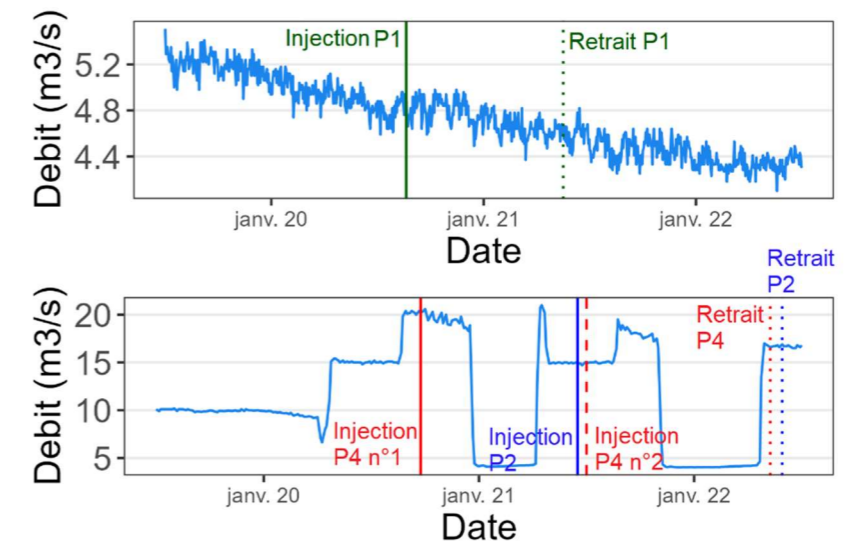


Figure 51 - Hydrogramme à P1 et P2 + P4 durant la durée de l'exposition des traceurs sédimentaire.

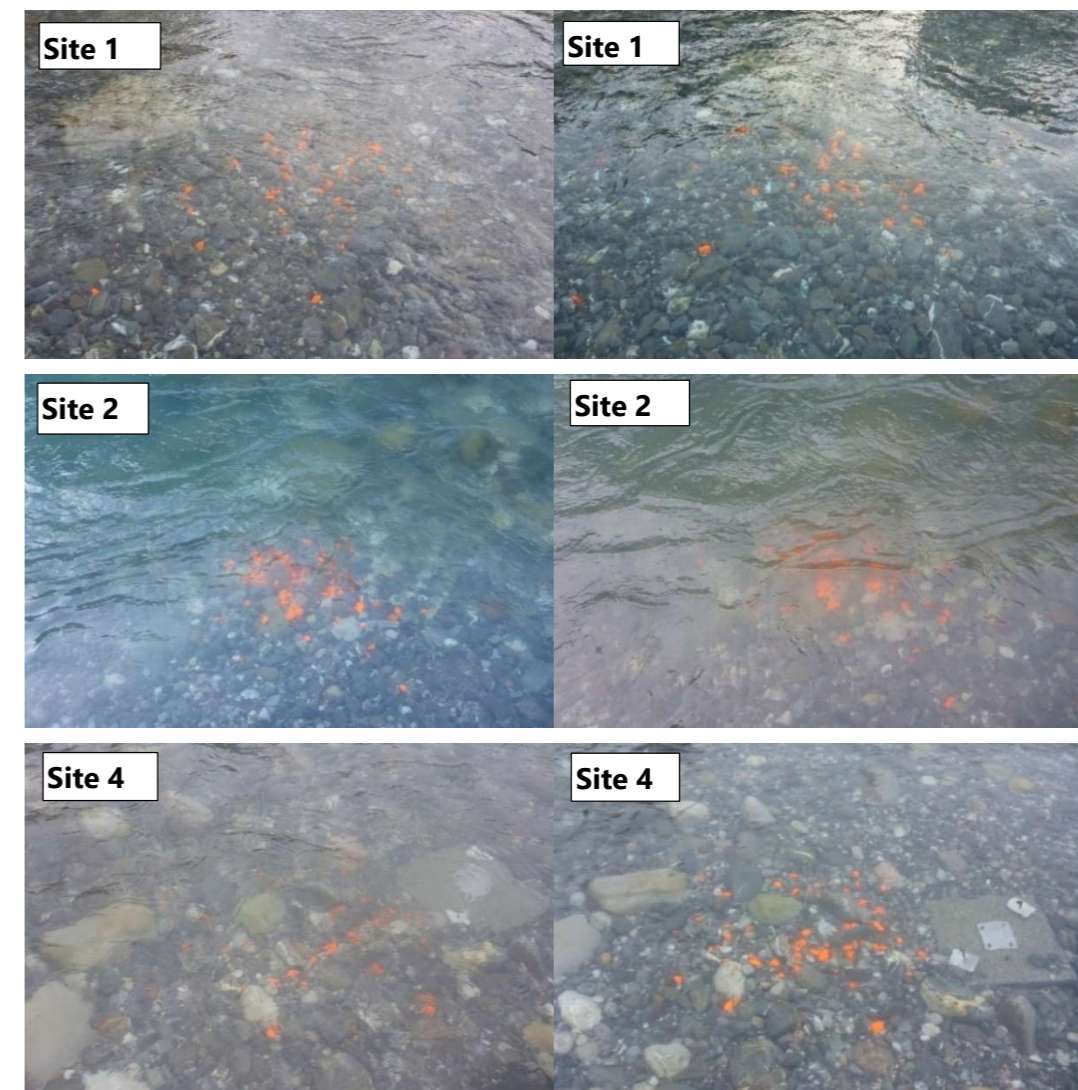


Figure 52 - Photographies des points d'injections des particules peintes sur les sites 1, 2 et 4 de haut en bas, avant et après la période d'expérimentation, de gauche à droite.



La Bourne

5. La Bourne

5.1. Localisation

Le site de suivi de la mobilité est situé en aval immédiat de Auberives-en-Royans et en amont de Saint-Nazaire-en-Royans et la confluence de la Bourne avec l'Isère (Figure 53). Quatre sites ont été instrumentés et suivis, tous soumis aux écluses.

Site de la Bourne

Localisation des sites de suivi

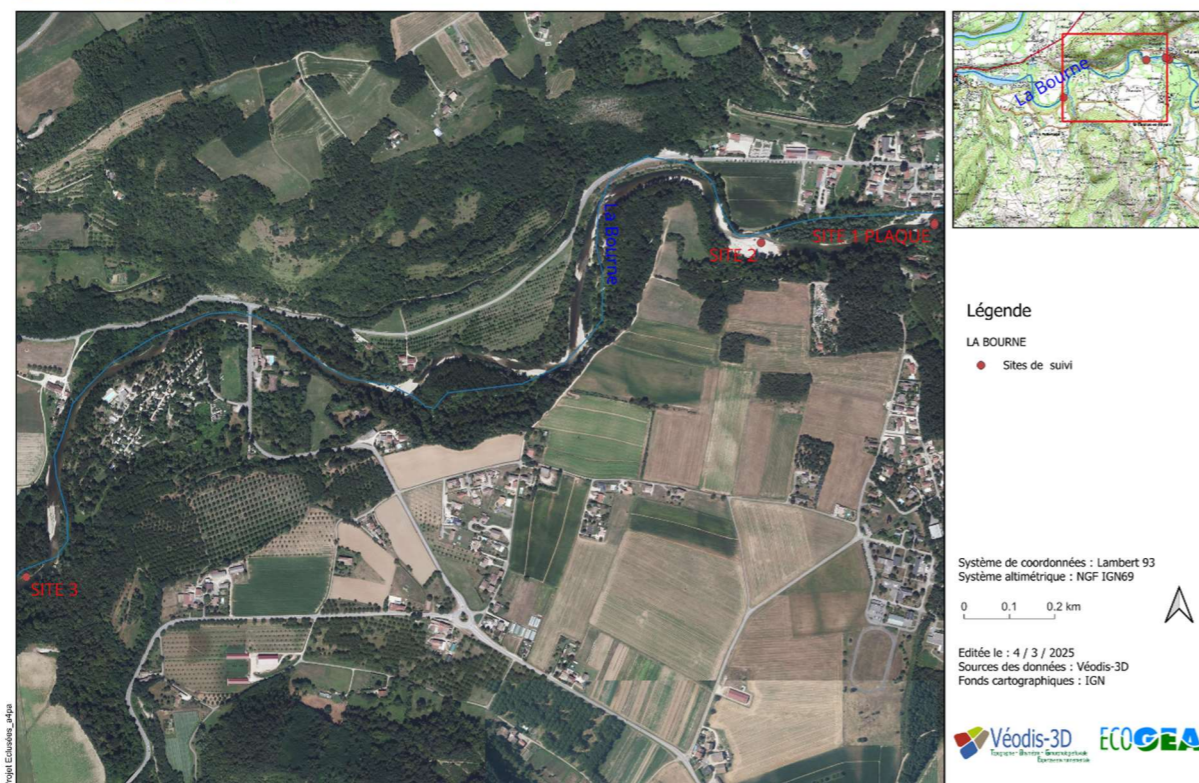


Figure 53 - Présentation du site d'étude de La Bourne.

5.2. Suivis réalisés et planning

L'objectif de ce suivi était de :

- **Observer la mobilité sédimentaire** en lien avec les écluses, à l'aide de trois plaques d'impact (P1, P2 et P3), disposées en amont d'un radier, sur une zone à SGF, identifiée lors d'une visite de site réalisé avec l'Agence de l'Eau le 12/10/2023. Cet équipement a été complété par l'installation de deux capteurs de pression, dont un à l'air libre afin de mesurer les variations de niveau d'eau. Toutefois, suite à un dysfonctionnement du matériel, aucune donnée de hauteur d'eau n'a pu être récupérée depuis le 22/02/2024. On devra donc analyser les données des plaques d'impacts sur cette période au regard des données de hauteur d'eau fournies par la station DREAL de Saint-Just-de-Claix. Les représentations graphiques de l'évolution des hauteurs d'eau sont donc séparées entre les deux périodes entre nos visites de terrain, à cause de l'impossibilité d'harmoniser les données de hauteur d'eau.

Les plaques d'impact et les capteurs de pression ont été installés le 30/01/2024, récupérés le 01/04/2024, après une durée de fonctionnement et d'enregistrement de 85 jours.



Figure 54 – Dispositif d'installation des plaques d'impacts sur le site 1 de la Bourne.

- **Mener une expérimentation** visant à mieux caractériser le débit seuil de mise en mouvement des particules d'intérêt à l'aide de traceurs sédimentaires peints. Cette expérimentation s'est faite au droit des plaques d'impacts ainsi que sur 2 sites en aval (site 2 et 3). Elle a été associée à des mesures de vitesses d'écoulement de surface ainsi qu'à des prélèvements granulométriques sur les sites instrumentés.

Les 3 sites sont les suivants (Figure 55) :

- Le site 1, correspondant au site d'équipement des plaques d'impacts lors de la campagne de terrain précédente.
- Le site 2, pré-identifié lors des visites de terrain précédent l'instrumentation des plaques, avant le choix définitif du site 1.
- Le site 3, pré-identifié lors des visites de terrain précédents l'instrumentation des plaques, avant le choix définitif du site 1.

Les emplacements ont été choisis pour la nature de leurs granulométries. La présence de substrats de granulométrie type graviers grossiers à cailloux grossiers, généralement considérés comme favorables à la fraie de la truite, n'est pas fréquente. Ces 3 sites sont ceux présentant les granulométries les plus proches de la granulométrie cible.



Figure 55 : Carte de localisation des sites d'injection des traceurs sédimentaires peints

Les particules injectées sont issues de la Bourne, prélevées lors des visites de terrain précédentes, et sont peintes au laboratoire à l'aide de bombes de peinture fluorescente de chantier. La granulométrie des particules injectées donc la même que celle visible en Figure 58.

Sur chaque site, les particules ont été injectées manuellement, une par une. Elles ont été légèrement enchâssées dans le substrat. Une photographie des points d'injections des sites 1, 2 et 3 est visible sur la Figure 57. Il a été instrumenté :

- 50 particules sur le site 1 le 04/02/2025 à 13 h, recherchées le 05/02/2025 à 8h45.
- 80 sur le site 2 le 04/02/2025 à 14 h, recherchées le 05/02/2025 à 09h20.
- 80 particules sur le site 3 le 04/02/2025 à 15h00, recherchées le 05/02/2025 à 10 h.

A la suite de l'instrumentation des particules peintes, EDF a bien procédé à une éclusée au cours de la nuit du 04/02 au 05/02/2025, l'expérimentation permet donc bien d'évaluer l'impact des éclusées sur la mobilité des particules.

Les traceurs ont donc été exposés à des débits variant entre $7.75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ au débit de base inter-éclusée, atteint à 08 h le 05/02/2025 et $28.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ atteint le 04/02/2025 à 21 h.

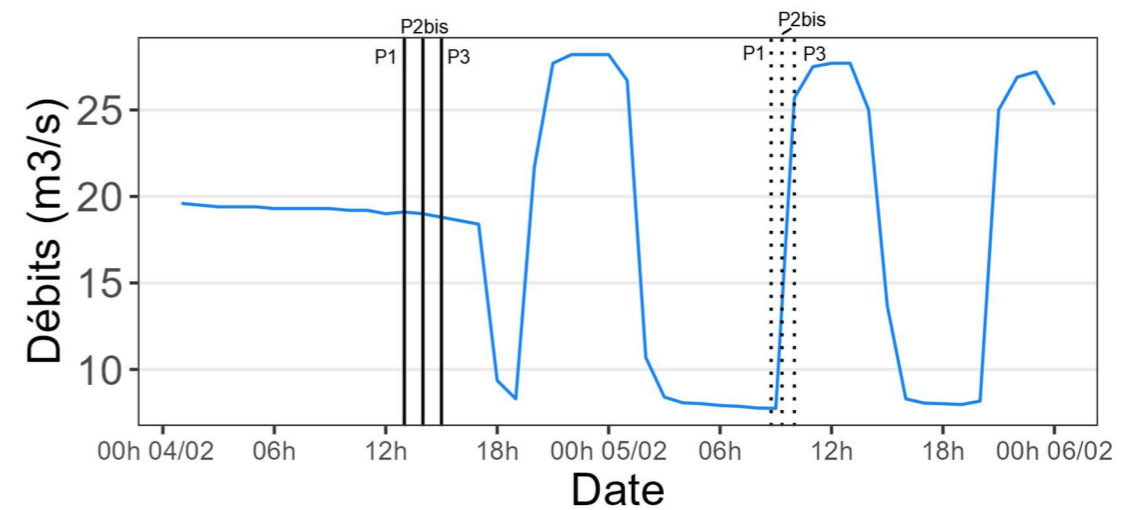


Figure 56 - Hydrogramme de la Bourne au Pont de Manne durant la période d'expérimentation sur les traceurs sédimentaires peints. Les traits verticaux pleins indiquent les dates d'injection des traceurs et les traits pointillés les dates de retrait des traceurs.

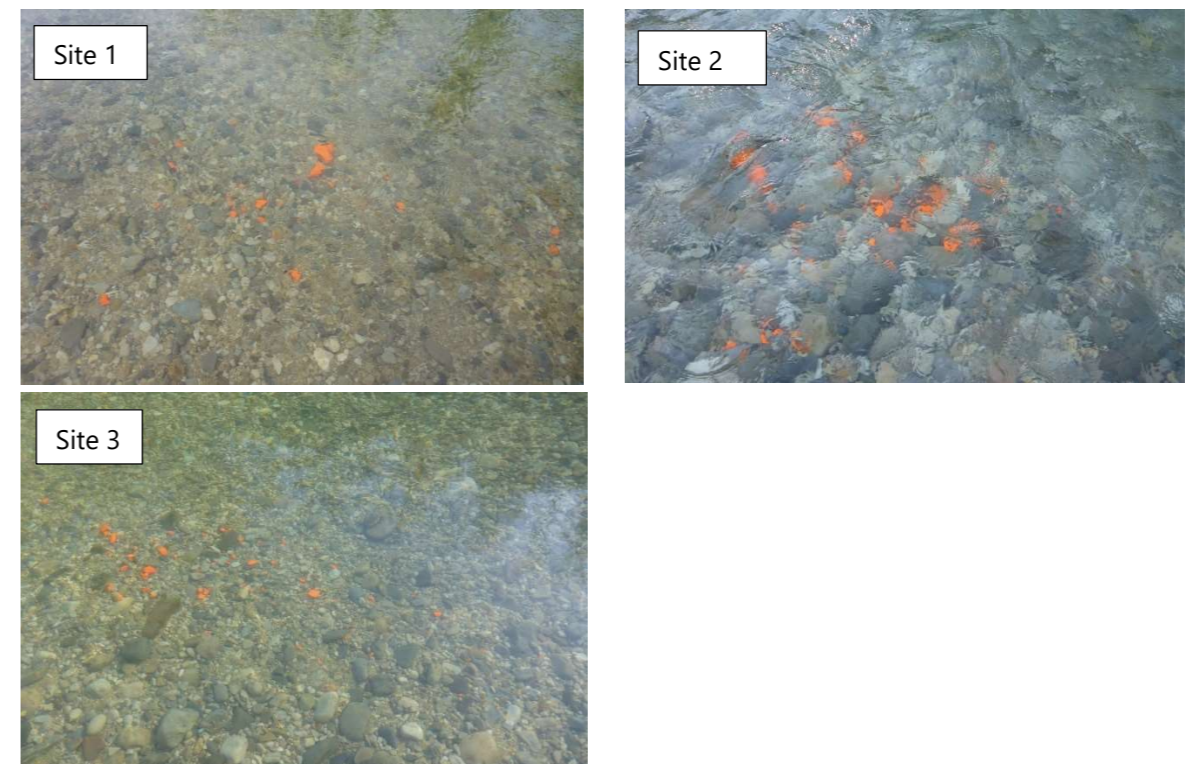


Figure 57 - Photographies des points d'injection des traceurs sédimentaires peints.

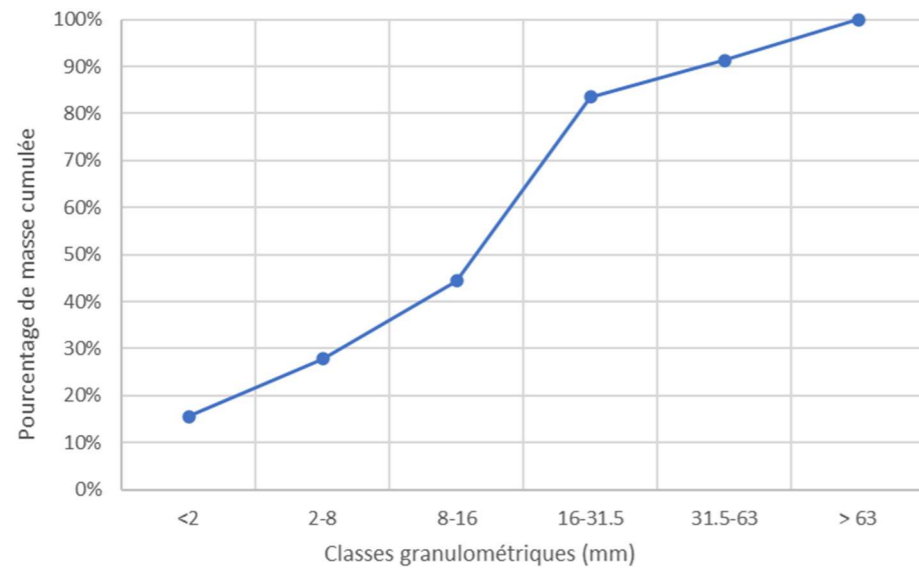


Figure 58 - Courbe des pourcentages de masse cumulée des classes granulométriques mesurée sur la Bourne.

5.3. Résultats des plaques d'impacts

Ce qu'il faut retenir de l'expérimentation plaques d'impacts :

- Aucun impact n'est enregistré sur la plaque P1 entre la première installation le 30/01/2024 et le 01/04/2024 (Figure 59).
- Quelques impacts enregistrés sur P1 durant la crue du 01/04/2024 (47 au total) (Figure 61)
- Quelques particules mobiles le 03/04 lors du ressaut de hauteur d'eau sur l'hydrogramme (Figure 61).
- La hauteur d'eau à Saint-Juste-de-Claix correspondant au débit seuil de mise en mouvement des particules à la plaque P1 est comprise entre 2.25 m et 2.5 m.
- Lors du déchargement du 22/02/2024 : présence de biofilm au droit des plaques sur les particules et sur les plaques mais pas en aval des plaques, au droit de l'augmentation de pente liée au radier.

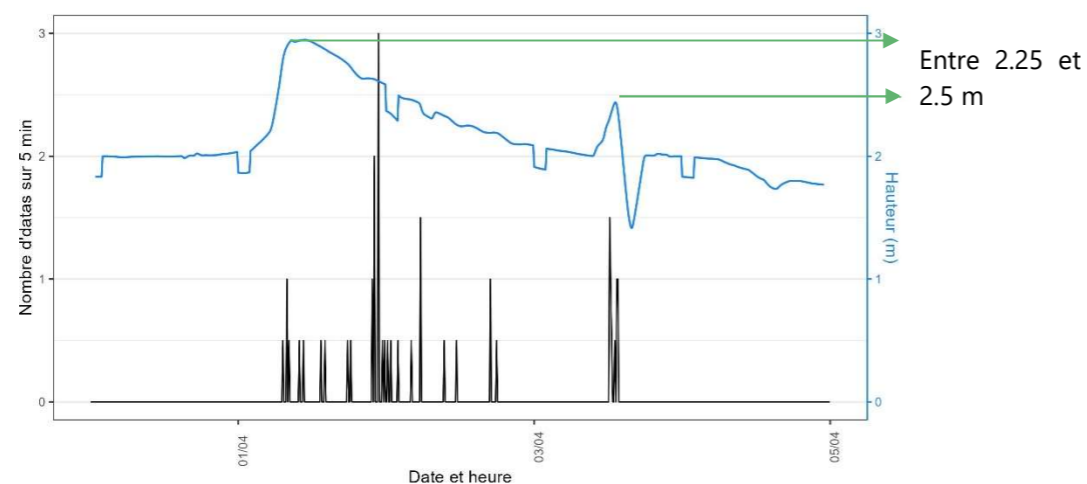


Figure 59 - Hydrogramme de la crue du 01/04/2024 et chronique des impacts enregistrés sur P1.

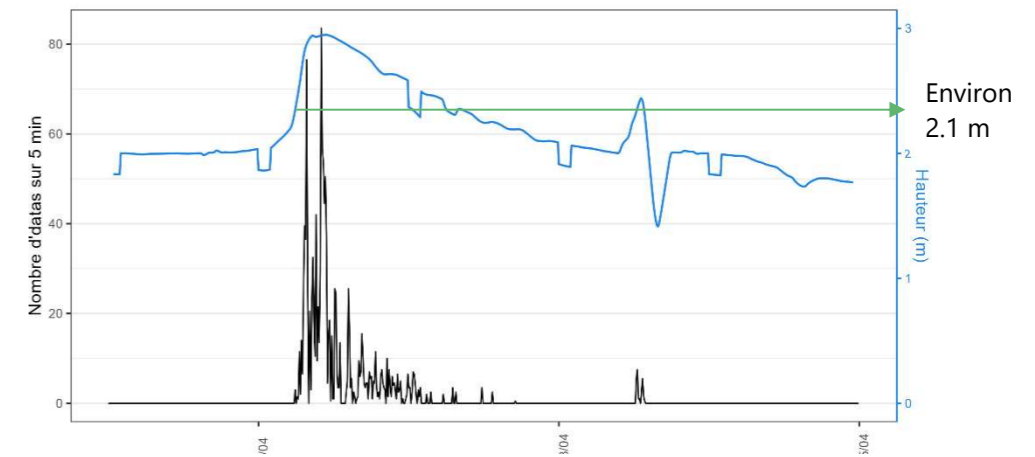


Figure 60 - Hydrogramme de la crue du 01/04/2024 et chronique des impacts enregistrés sur P3.

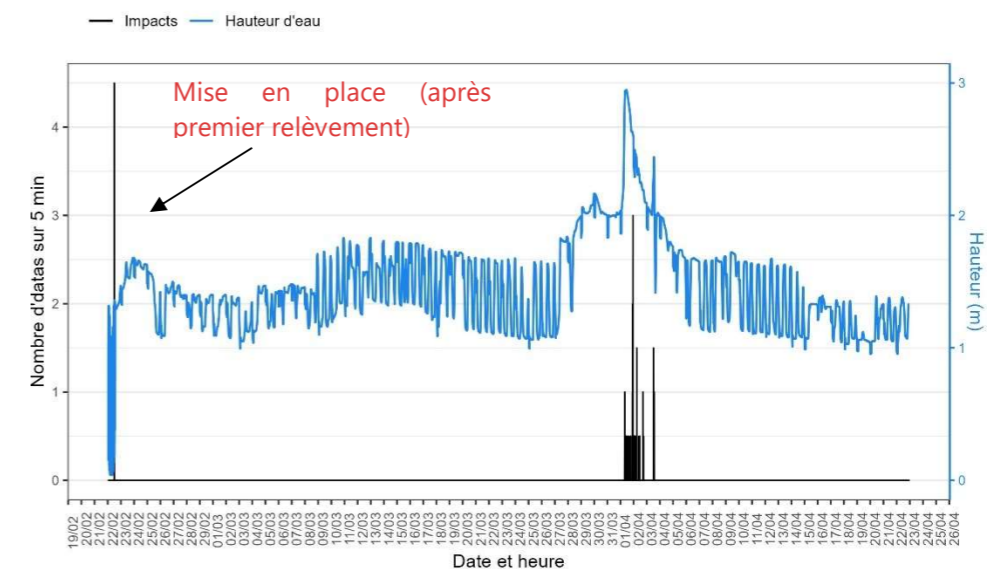
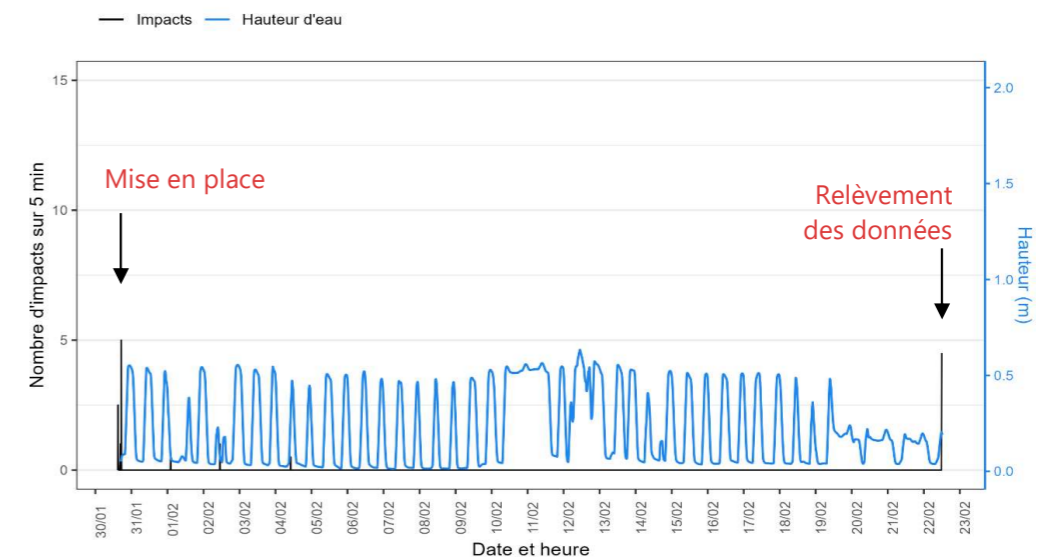


Figure 61 - Variations des hauteurs d'eau et nb d'impacts sur P1 (attention aux échelles).

- La plaque P2 a été retrouvée retournée lors de la visite du 22/02/2024 mais la cohérence visible des données d'impacts avec P1 laisse penser qu'elle s'est retournée hors période de crue (Figure 62).
- Aucun impact n'est enregistré sur la plaque P2 entre la première installation le 30/01/2024 et le 01/04/2024 (Figure 62)
- Des impacts plus nombreux que sur P1 enregistrés sur P2 durant la crue du 01/04/2024 (864 au total) (Figure 62)
- La hauteur d'eau à Saint-Just-de-Claix correspondant au débit seuil de mise en mouvement des particules à P2 est d'environ 2.25 m

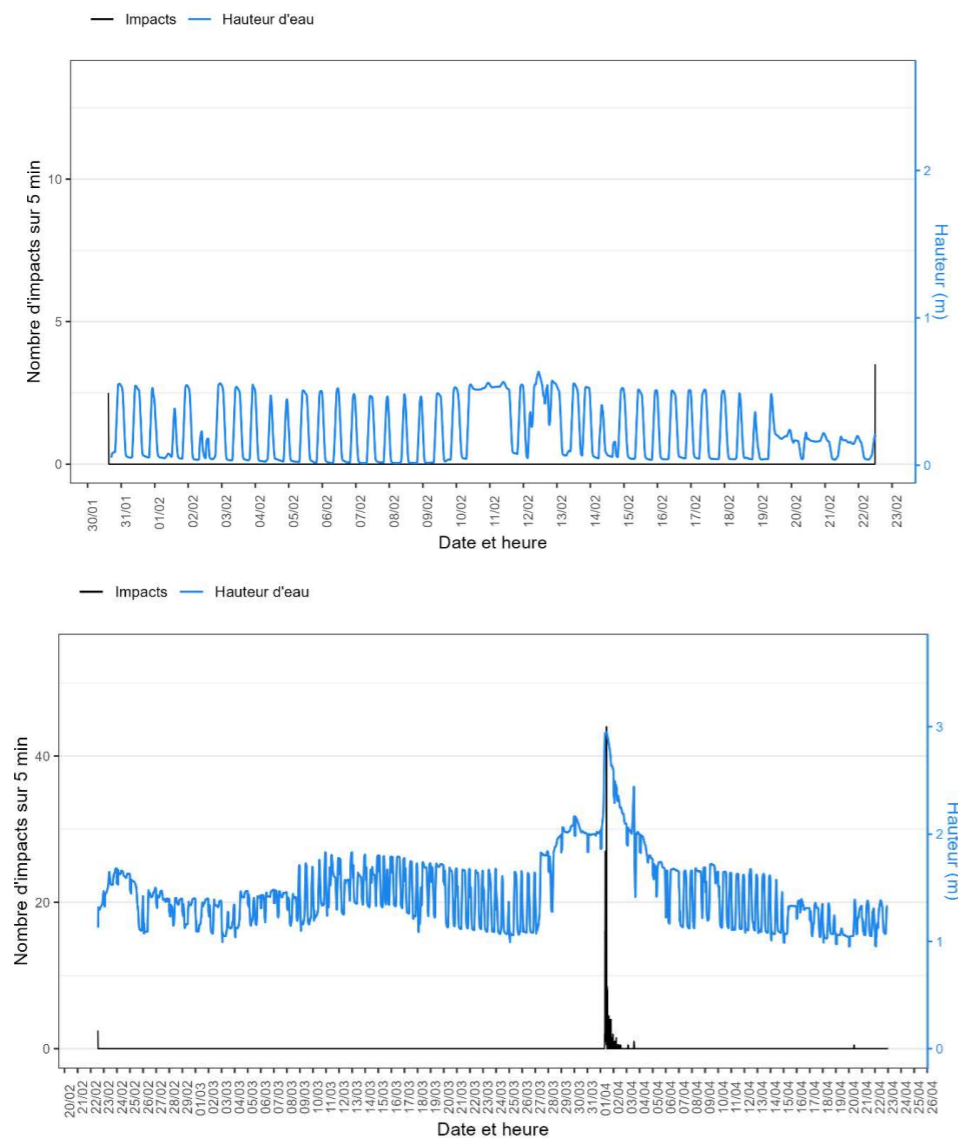


Figure 62 - Variations des hauteurs d'eau et nb d'impacts sur P2 (attention aux échelles).

- La plaque P3 a été retrouvée retournée lors de la visite du 22/02/2024. Les données enregistrées par P3 après le 08/04 sont incohérente avec les deux autres plaques et les hauteurs d'eau : jusqu'à 8500 impacts / 5 min mesurés hors période de crue (Figure 9)
- Les données enregistrées par P3 avant le 08/04 sont visiblement cohérentes avec les hauteurs d'eau et les deux autres plaques (Figure 10 et 12). On considère donc que les impacts détectés lors de la crue du 01/04/2024 sont valides

- Aucun impact n'est enregistré à P3 entre le 30/01 et le 01/04 (Figure 9)
- De nombreux impacts sont enregistrés à P3 lors de la crue du 01/04/2024 (Figure 10) (2360 au total)
- La hauteur d'eau correspondant au seuil de mise en mouvement à P3 est d'environ 2.1 m
- Lors de l'installation, absence de biofilm sur les particules sédimentaires

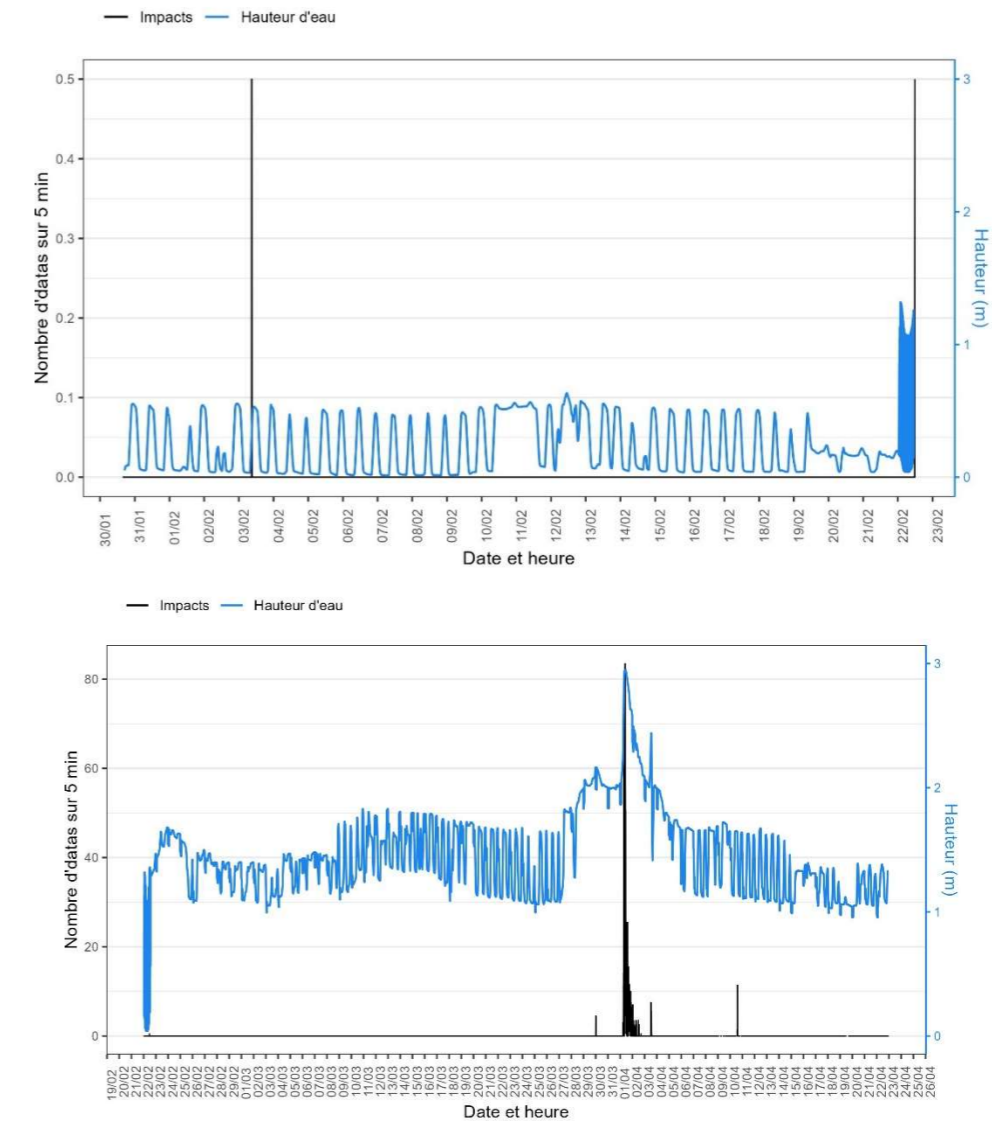


Figure 63 - Variations des hauteurs d'eau et nb d'impacts sur P3 (attention aux échelles).

On observe sur la Figure 64 la relation entre hauteur d'eau au droit des plaques et le nombre d'impacts détectés par les 3 plaques. Hormis quelques points de mesures isolés comptabilisant systématiquement moins de 11 impacts, on constate que la hauteur d'eau seuil de mise en mouvement est supérieure à 2 m pour les 3 plaques. Par ailleurs, sur P1, il ne semble pas se dégager de relation claire entre nombre d'impact et hauteur d'eau, ce qui est cohérent avec la faible activité générale mesurée. Sur P2 et P3, une relation de type exponentielle se dessine. Toutefois, on constate que bien que la hauteur seuil de mise en mouvement sur P2, situé à 2 m, soit inférieure à celui de P3, située environ à 2.2 m, le nombre d'impacts enregistrés à P3 pour une même hauteur d'eau tend à être plus important.

Par ailleurs, on n'observe pas de fluctuation dans cette relation au cours de la période de mesure.



Enfin, la hauteur d'eau atteinte durant les éclusées sur le site d'étude est systématiquement inférieure à 1.86 m. La représentation ci-dessus représente bien l'absence de transit sédimentaire sur les SGF lors des épisodes d'éclusées.

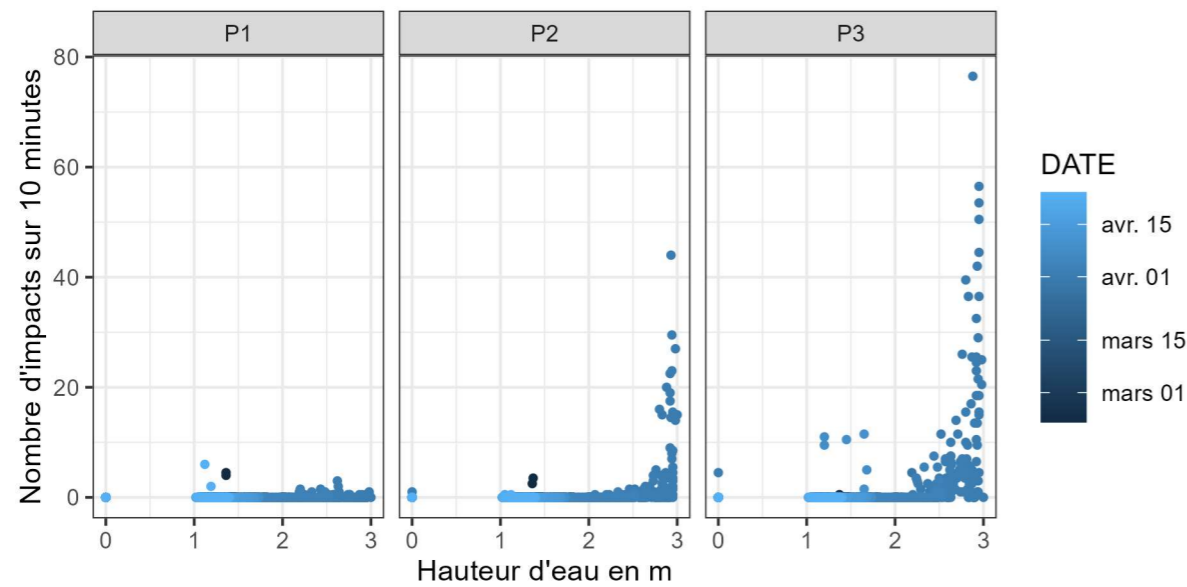


Figure 64 - Relation entre hauteur d'eau au droit des plaques et le nombre d'impacts détectés par les 3 plaques.

Durant toute la période précédant la crue du 01/04, il y a eu une succession d'éclusées à raison de deux éclusées par jour, dont le niveau d'eau maximale a toujours été identique :

- 1.75 m à la station de Saint-Just-de-Claix (station vigicrue),
- 0.5 m au droit de notre station.

Les éclusés ont repris après le 05/04 à des niveaux comparables à ceux précédant le 01/04.

Manifestement, les successions d'éclusées ne provoquent pas de mobilité des particules au droit du radier. Elles ne provoquent pas de mobilisation des particules de tailles comprise entre 8 et 63 mm (D50, D90 approx) lors des éclusés. **Les SGF ne semblent donc pas être mobilisées par des débits d'éclusées** (altération : mobilité du substrat) ce qui n'aggrave pas le déficit sédimentaire.

En crue, environ 1.7 fois la valeur maximale des éclusées, les 3 plaques montrent de la mobilité sédimentaire et les plaques P1 et P2 ont un seuil de mise en mouvement légèrement supérieur à P3. De plus, la plaque P3 mesure un transport plus important que P1 et P2.

La forme des chroniques des impacts mesurés par P2 et P3 est corrélée à la forme des hydrogrammes. Il semble donc que le transport solide soit directement relié au débit (et que le temps n'a pas d'influence sur l'intensité du charriage) et qu'il se produise selon un phénomène « de tapis roulant ».

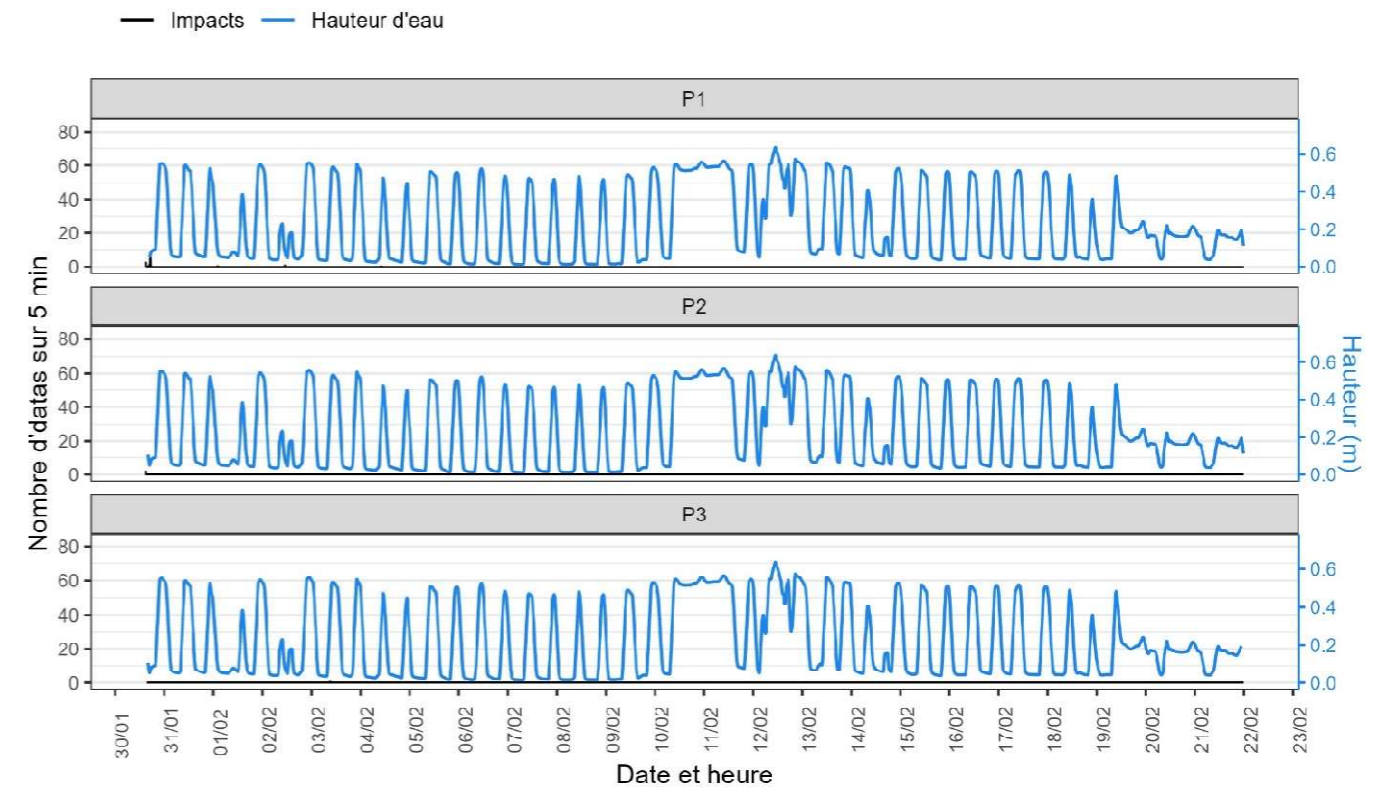


Figure 65 - Variations des hauteurs d'eau (capteurs HOBO Véodis-3D) et nb d'impacts sur P1, P2 et P3 entre le 30/1/2024 et le 22/02/2024.

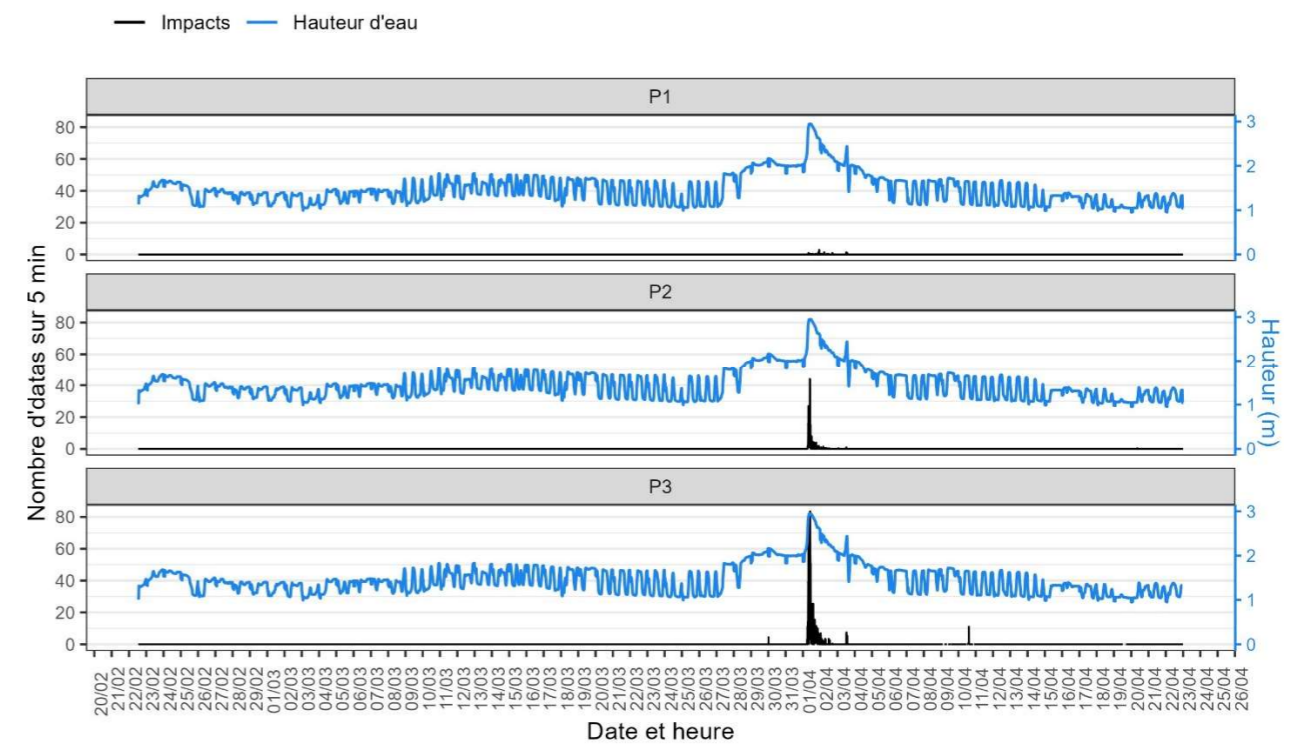


Figure 66 - Variations des hauteurs d'eau (DREAL St-Just-de-Claix) et nb d'impacts sur P1, P2 et P3 entre le 30/1/2024 et le 22/02/2024 après retrait des valeurs incohérentes de P3.

5.4. Résultats des particules peintes

Sur les sites 1 et 3, aucun mouvement des traceurs sédimentaires n'a été détecté durant la période d'exposition.

Cette absence de mouvement est cohérente avec les données issues des plaques d'impact ; qui étaient toutes situées sur le site 1. En effet, sur la période d'exposition des plaques d'impact, aucun ou quasiment aucun impact n'était comptabilisé durant les éclusées. Les seuls mouvements détectés l'avaient été durant des périodes de crue naturelles.

Sur le site P2, un début de mobilité a été détecté, avec 4 particules ayant parcouru des distances comprises entre 2 et 4 m depuis leur point d'injection, et quelques autres particules s'étant retourné ou ayant légèrement changé d'emplacement, sans pour autant que ces mouvements soient suffisamment importants pour être quantifiables.

Cette observation est en contradiction avec les données issues des plaques d'impacts et les résultats des traceurs sédimentaires sur les deux autres sites. On peut expliquer l'existence d'un seuil de mise en mouvement plus bas sur le site 2 par sa configuration. Le site est situé dans une zone méandrique et les particules ont été injectées sur le flanc d'un banc de galets de convexité, seule zone du site où l'on observait des particules comprises dans la gamme de granulométrie cible. Les contraintes sur le fond et les vitesses d'écoulement sont donc naturellement plus importantes sur cette zone (Tableau 8) que sur les autres sites, expliquant une mise en mouvement des particules plus précoce.

Toutefois, le mouvement observé reste modeste et de concerne qu'un faible nombre de traceurs. Il est possible qu'il s'agisse d'un premier mouvement lié à la position des traceurs à la surface du lit, facilitant leur mise en mouvement. Une exposition prolongée sur plusieurs éclusées, favorisant l'inclusion des traceurs dans le substrat, pourrait montrer un ralentissement voire un arrêt de la mobilité pour des débits similaires. Cela dit, il s'agit du seul site où nous avons observé de la mobilité des traceurs, ce qui reste un indicateur d'un débit seuil de mise en mouvement plus faible.

Tableau 8 - Tableau de synthèse des valeurs de vitesse d'écoulement de surface aux différents sites et différents débits.

Site	Débit (m ³ .s ⁻¹)	Vitesse (m.s ⁻¹)
Site 1	19.0	1.01
	27.5	1.13
Site 2	19.0	0.70
	26.0	1.44
Site 3	19.0	0.88
	25.7	1.13

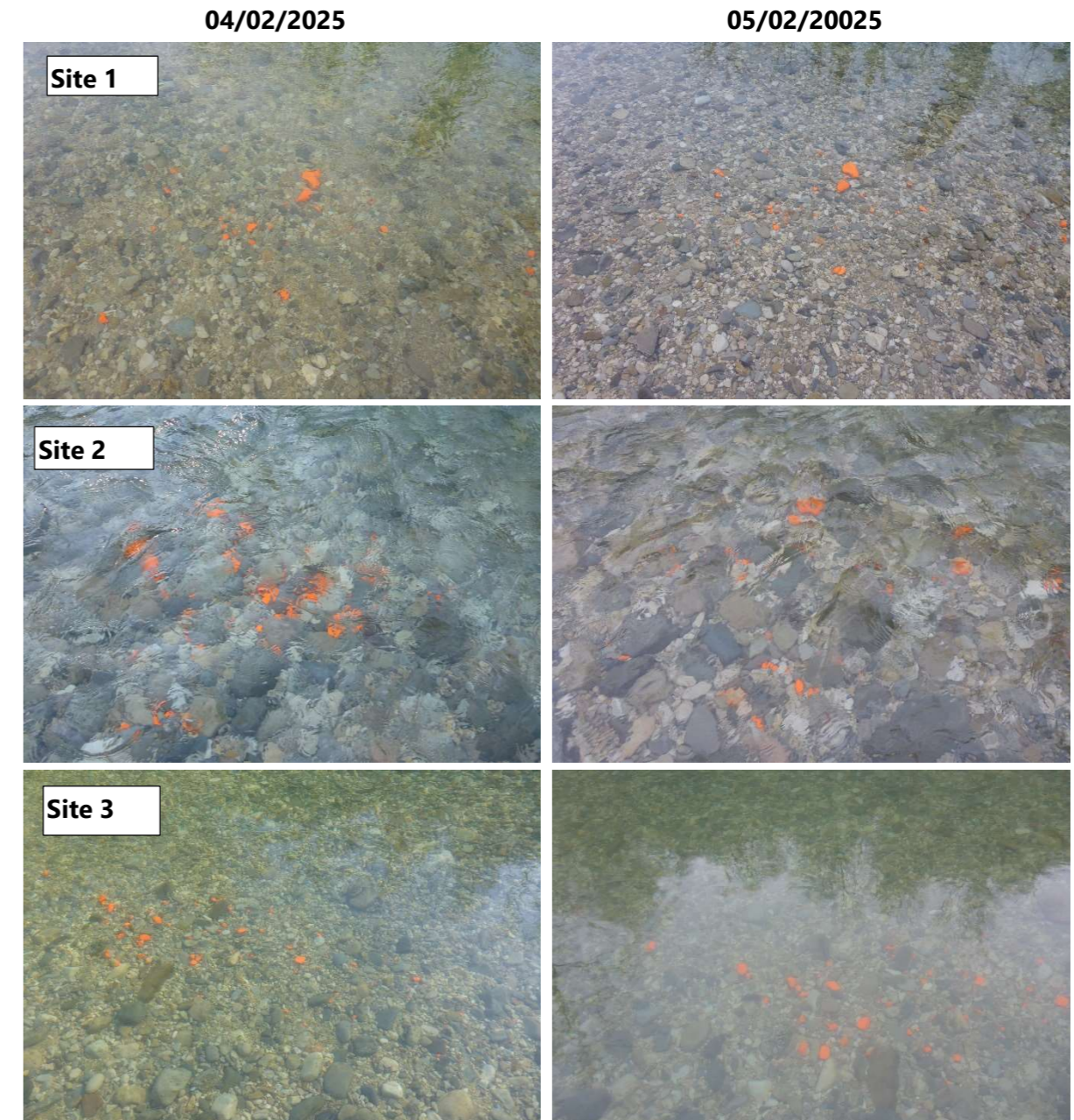


Figure 67 - Photographies des points d'injection des particules peintes sur les sites 1, 2 et 3 avant et après la période d'expérimentation.



La Siagne

6. La Siagne

6.1. Localisation

Le site de suivi de la mobilité est situé au droit du lieu-dit la Pénarde, dans un méandre dont la rive gauche est calée sur le substratum rocheux, en du village d'Auribeau-sur-Siagne. Le site a été instrumenté de deux plaques d'impacts (Figure 68).

Site de la Siagne

Localisation des sites de suivi

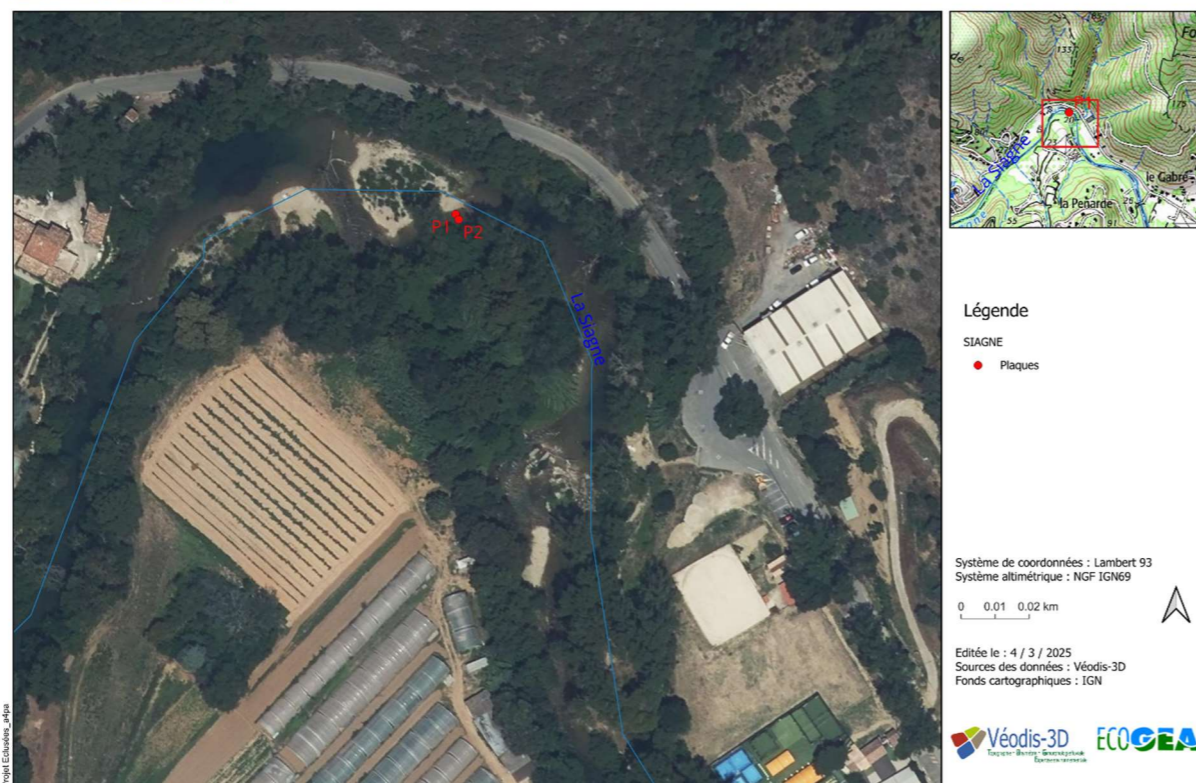


Figure 68 - Présentation du site d'étude de La Siagne.

6.2. Suivis réalisés et planning

L'objectif de ce suivi était de :

- **Observer la mobilité sédimentaire** en lien avec les éclusées, à l'aide de deux plaques d'impact (P1, P2). Les plaques ont été installées le 12/06/2024 sur la Siagne à l'amont de Pégomas, environ 1.5 km à l'aval du barrage de Tanneron-le-Tignet, au droit du chemin de l'Appie, sur l'aval du bras droit de la Siagne cette dernière entourant une île végétalisée à cet endroit (Figure 69). Cet emplacement a été choisi pour la nature de sa granulométrie, correspondant à celle dont on cherche à mesurer la mobilité en lien avec les éclusées, et pour la mobilité apparente du substrat (non-colmaté, mobile sous le pied, vitesse d'écoulement locales importantes). Les plaques ont été laissées durant 22 jours sur le terrain. 7 éclusées à 20 m³/s sont passées durant ces 22 jours. Du fait de la forte fréquentation du site, nous avons considéré que cet échantillonnage était suffisant et les avons retirés pour éviter toute dégradation du matériel.

Lors de notre arrivée, avons choisi de ne pas installer de capteurs de pression du fait de la forte fréquentation du site, alors même que les grandes vacances estivales n'avaient pas encore débuté.

L'analyse de la mobilité enregistrée avec les plaques se fera donc au regard des données de débits obtenues à la station de Pégomas sur l'hydroportail.

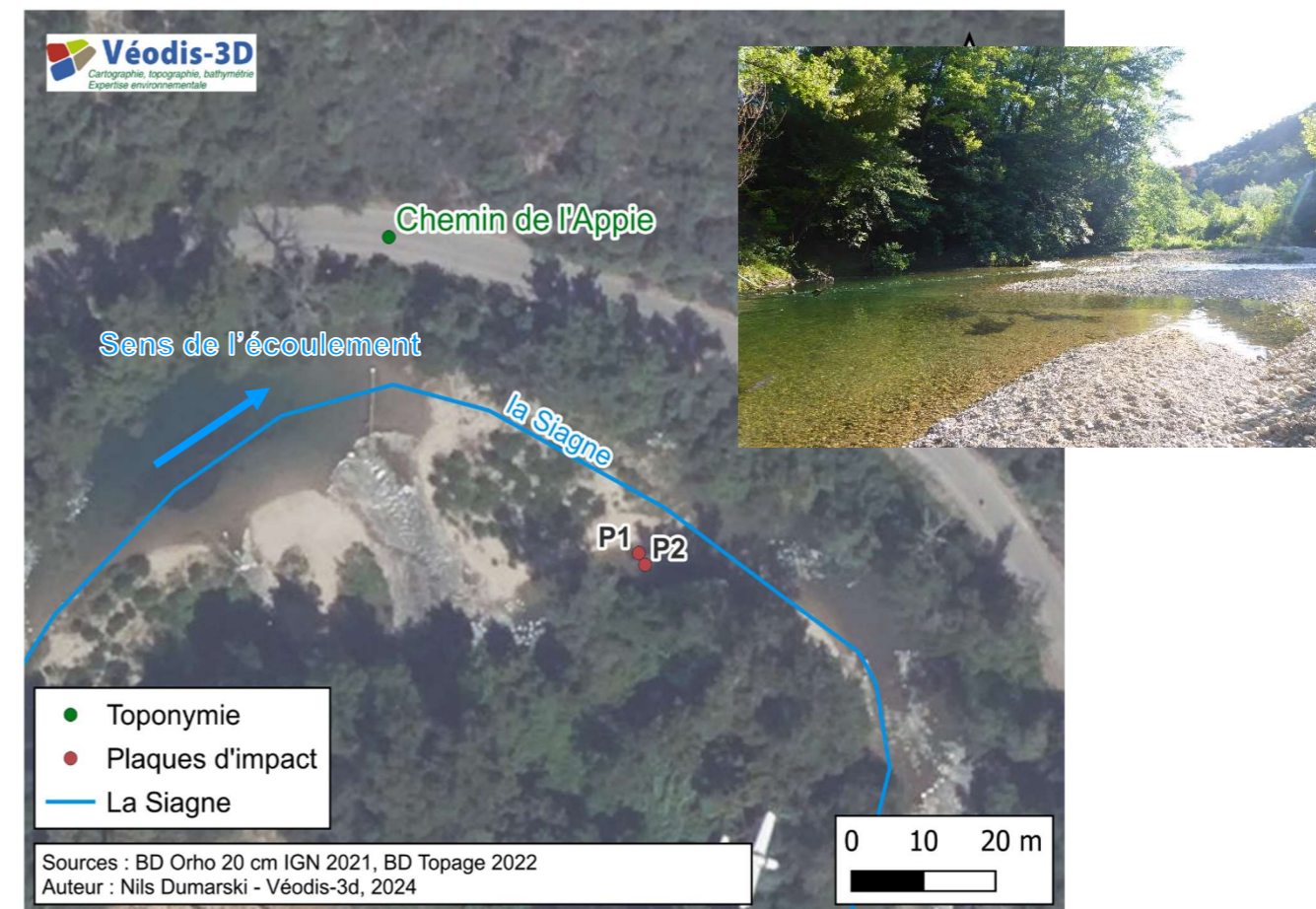


Figure 69 - Localisation des plaques et photographie depuis le point d'installation (vue vers l'amont).

- **Mener une expérimentation** visant à mieux caractériser le débit seuil de mise en mouvement des particules d'intérêt à l'aide de traceurs sédimentaires peints. A ce jour, cette expérimentation n'a toujours pas été réalisée. Elle devrait avoir lieu d'ici quelques semaines.

Un prélèvement granulométrique volumétrique a été réalisé au droit du point d'installation des plaques (Figure 70). On observe que la granulométrie est distribuée de manière assez régulière entre les classes, la courbe des masses cumulée ne montrant pas de brusque évolution. Il semble toutefois que les classes 16-31.5 et 31.5-62 mm soient dominantes.

Aussi, on constate que la granulométrie est assez fine, aucune particule plus grossière que des pierres fines (les pierres fines étant comprises entre 63 et 126 mm sur l'échelle de Wentworth) ayant été observée, ces dernières étant de toute façon minoritaire.

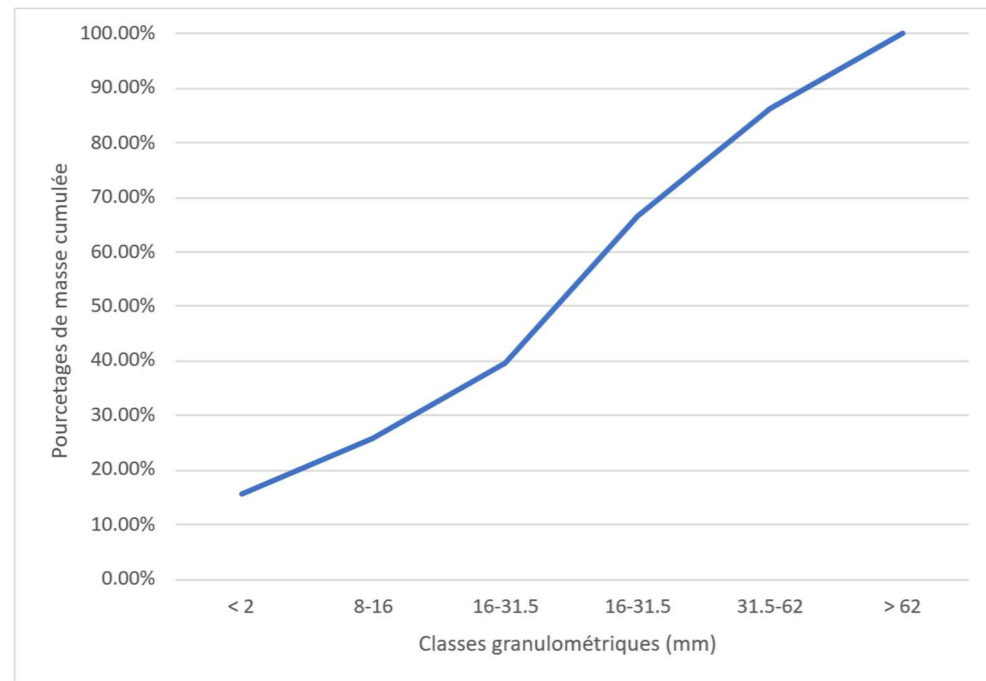


Figure 70 - Courbe des pourcentages de masse cumulée des classes granulométriques mesurée sur la Siagne.

6.3. Résultats des plaques d'impacts

Les données des deux plaques d'impacts ont pu être récupérées sans problème. Les plaques elles-mêmes ont été retirées du substrat sans difficulté.

Les résultats sont présentés sur la Figure 71 au regard des chroniques de débits enregistrées à la station de Pégomas.

On note :

- Un nombre d'enregistrements quasi-nul sur la plaque P1.
- De plus nombreux enregistrements sur la plaque P2 pour les débits éclusés supérieures à 27 m³/s⁻¹.
- Le nombre total d'impacts enregistrés sur P1 est de 2 et de 169 sur P2.

Ces données d'enregistrement tendent à montrer que la mobilité des particules sédimentaires cibles sur la Siagne est virtuellement inexistante, dans la mesure où les débits en jeu correspondent aux débits d'éclusées maximums.

Il semblerait qu'au débit maximum, on atteigne un premier et léger seuil de mise en mouvement sur P2, bien que la mobilité reste très faible.

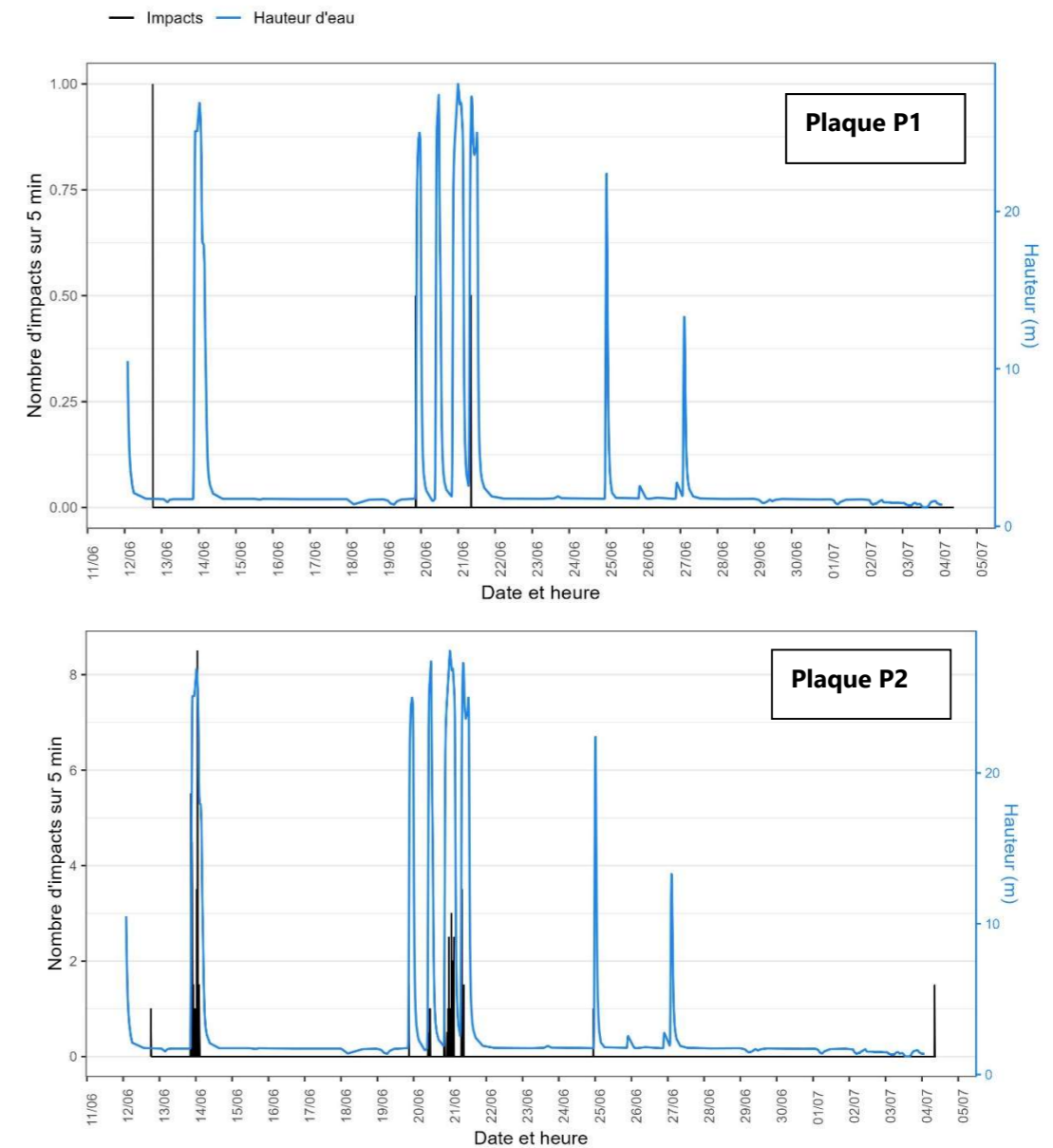


Figure 71 - Résultats des comptages sur les 2 plaques installées sur la Siagne .



Le Verdon

7. Le Verdon

7.1. Localisation

Le site de suivi de la mobilité est situé à Vinon-sur-Verdon, en aval de la centrale EDF de Vinon, en aval du pont de Vinon, Le site a été instrumenté d'une plaque d'impact (Figure 72).

Site du Verdon

Localisation des sites de suivi



Figure 72 - Présentation du site d'étude de Le Verdon.

7.2. Suivis réalisés et planning

L'objectif de ce suivi était de :

- **Observer la mobilité sédimentaire** en lien avec les éclusées, à l'aide d'une plaque d'impact (P1, P2 et P3), disposée en rive gauche en aval du pont de Vinon (Figure 73). L'implantation a été réalisée le 11/04/2024 et la plaque a été retirée le 26/05/2024, soit après 35 jours d'enregistrements. Cet équipement a été complété par l'installation de deux capteurs de pression, dont un à l'air libre, afin de mesurer les variations de niveau d'eau.
- **Mener une expérimentation** visant à mieux caractériser le débit seuil de mise en mouvement des particules d'intérêt à l'aide de traceurs sédimentaires peints. Cette expérimentation est programmée dans les prochaines semaines.

Particularités du site

Du point de vue du contexte hydrologique, la centrale de Vinon était arrêtée pour travaux lors de cette période. Le débit transitant dans le Verdon provenait des déversements au barrage de Gréoux-les-Bains (retenue d'Esparron).

Un mois avant l'implantation une crue de fréquence supérieure à la décennale ($200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, soit 7 fois le module) a profondément remanié le substrat des fonds de la rivière.

Le lieu d'implantation de la plaque d'impact se situe en aval d'un atterrissement de gravier/galets, récemment déposés par le Verdon et potentiellement charriable par la rivière.



Figure 73 - Détail de l'implantation de la plaque d'impacts sur le Verdon (l'orthophotographie issue de la BD Ortho n'est plus d'actualité suite au passage de la crue de mars 2023).

Tableau 9 - Profils de vitesse mesurés sur la plaque d'impacts lors de la pose et la dépose.

Date	Hauteur (cm)	Vitesse fond (cm/s)	Vitesse 0.2 (cm/s)	Vitesse 0.4 (cm/s)	Vitesse 0.8 (cm/s)
11/04/2023 12:00	68	47	112	144	152
16/05/2024 11:40	18.5	34	56	62	68

7.3. Résultats des plaques d'impacts

Durant les 35 jours de suivi, la plaque d'impacts a fonctionné correctement. En revanche la sonde de niveau a eu des dysfonctionnements qui font que les données obtenues ne sont pas continues. Les données de débit de la station de la BanqueHydro du Verdon à Vinonsur-Verdon [Le Hameau] ont été utilisées pour compléter le jeu de données

Durant la période de suivi, le débit du Verdon a varié entre 20 et 90 (données non validées par le fournisseur), la hauteur d'eau sur la plaque d'impacts entre 19.5 et 92.5 cm et le nombre d'impacts entre 0 et 17 impacts/10 min.

Globalement, on observe quelques impacts dès la mise en place de la plaque, avec une activité qui décroît entre le 11/04 et le 19/04. Ensuite, le nombre d'impacts enregistrés est très faible (< 2 impacts/10



min) jusqu'à une période d'activité légèrement plus marquée entre le 28/04 et le 04/05 avec de 0 à 13 impacts/10 min. Après le 06 mai, plus aucun impact n'est enregistré.

D'une manière générale, le nombre d'impacts enregistrés reste faible, et ne reflète pas une activité de transport solide soutenue (d'autres suivis ont montré que lorsque le transport solide se met en place on enregistre plusieurs centaines d'impacts en 10 minutes). La logique entre les variations de débit et le nombre d'impacts enregistrés entre le 11/04 et le 06/05 n'est pas claire et reflète plutôt des artefacts (passages aléatoires de particules isolées). En dessous de $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, plus aucun mouvement de particule n'est mis en évidence.



L'Aude

8. L'Aude

8.1. Localisation

Les deux sites de suivi de la mobilité en aval du village d'Axat, au lieu-dit Saint Martin Lys puis, 3.2 km environ, plus en aval, lorsque l'Aude sort de ses gorges, en amont du village de Belvianes et Cahirac (Figure 74).

Site de l'Aude

Localisation des sites de suivi

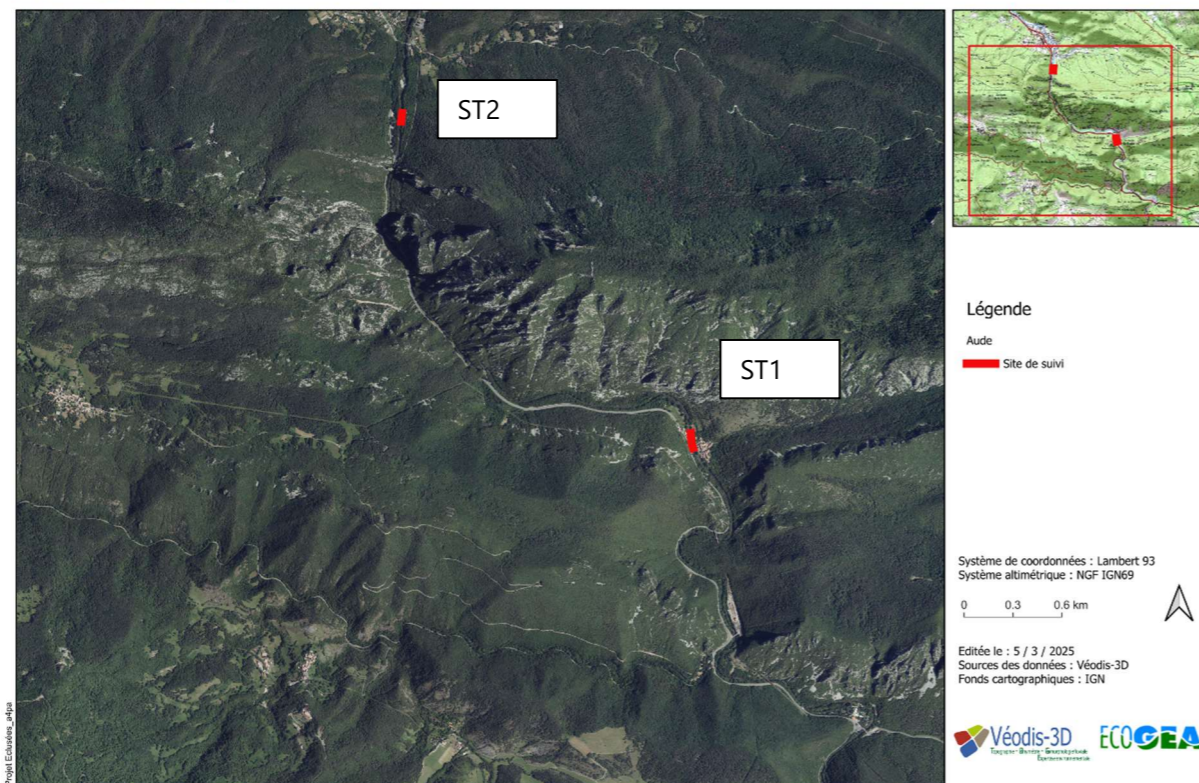


Figure 74 - Présentation du site d'étude de L'Aude.

8.2. Suivis réalisés et planning

Pour le choix des sites, la présence de successions de faciès et de zones de frayères caractéristiques du tronçon soumis aux éclusées ont été des critères de sélection auxquels il a fallu ajouter les contraintes de sécurité en relation avec l'exploitant. En effet, les 3 km aval de l'aménagement de Nentilla se situent dans une gorge très étroite dans laquelle il était dangereux de s'installer pour les expérimentations en l'absence d'indisponibilité programmée de l'aménagement. Toutefois, des échanges d'informations et une convention avec l'exploitant EDF a permis de réaliser les suivis dans de bonnes conditions. Deux sites ont donc été retenus en tenant compte de ces critères (Figure 85) :

- St-Martin Lys (ST1), situé à 8.3 km de la restitution de l'usine de Nentilla (pente 1%, largeur étiage : 15.6 m) succession de radier/plat courant/profond et rapide.
- Aval gorges de Pierre Lys, situé à 11.7 km de la restitution de l'usine de Nentilla (pente 0.75%, largeur étiage : 25.5m) succession de radier/plat courant.

Les deux sites ont été sélectionnés sur la base de la présence de surfaces granulométriquement favorable (SGF) à la reproduction des truites. Sur la station ST1, deux zones de SGF ont été identifiées représentant 14% de la surface du lit mouillé d'étiage. Sur la station ST2, une seule grande zone a été cartographiée représentant 63% de la surface mouillée d'étiage (Figure 85).

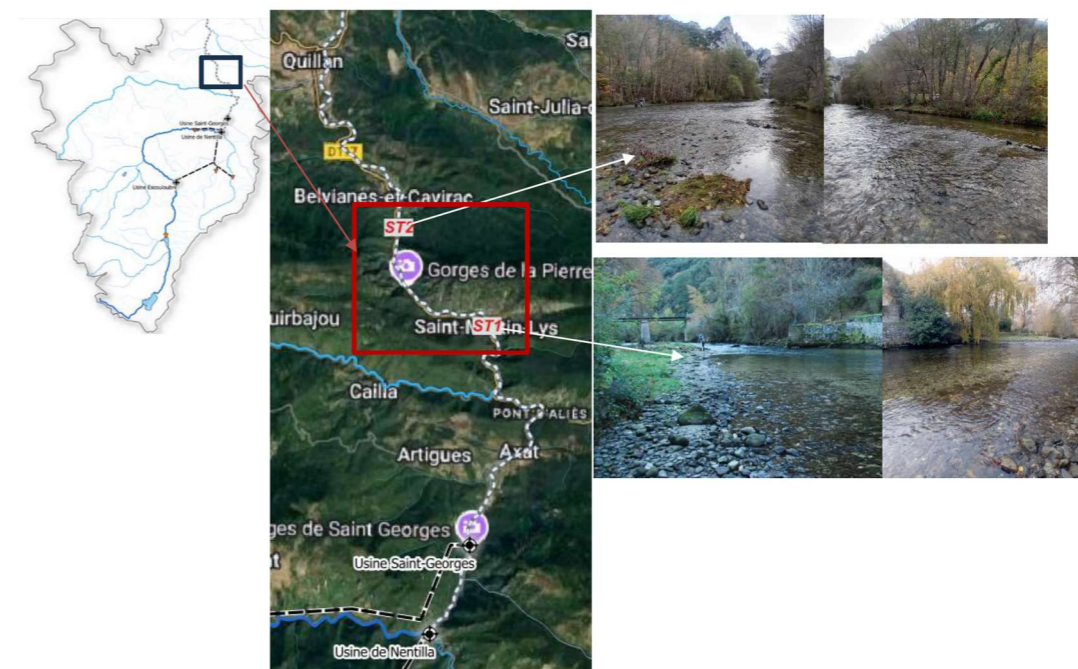


Figure 75 - Localisation des zones d'instrumentation sur l'Aude.

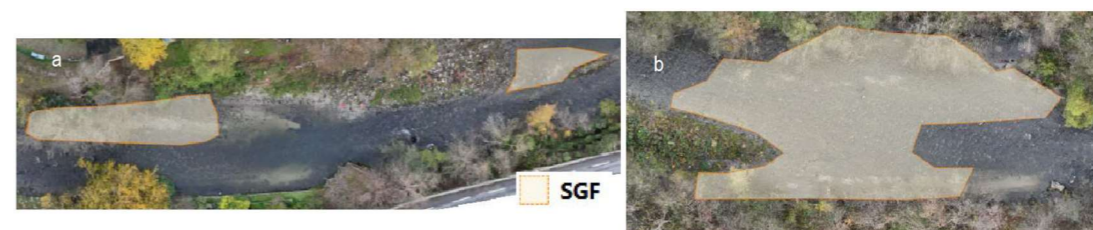


Figure 76 - Carte de localisation des SGF à la station (A) ST1 et (B) ST2.

L'objectif de ce suivi était de :

- **Observer la mobilité sédimentaire** en lien avec les éclusées, à l'aide de deux plaques d'impact (P1, P2), disposées sur les 2 stations en aval immédiat des zones de SGF. Seule la plaque de la station ST1 a été maintenue en place 26/11/2024 au 29/01/2025. Cet équipement a été complété par l'installation de deux capteurs de pression, dont un à l'air libre, afin de mesurer les variations de niveau d'eau. Les capteurs ont été installés du 27/11/2024 au 29/01/2025. Les données ont été enregistrées à un pas de temps de 10 min.
- **Mener une expérimentation** visant à mieux caractériser le débit seuil de mise en mouvement des particules d'intérêt à l'aide de traceurs sédimentaires peints et équipés de traceurs RFID. Cette expérimentation s'est faite au droit des plaques d'impacts, selon des transects perpendiculaires aux écoulements, et a été associée à des mesures de vitesses d'écoulement de surface ainsi qu'à des prélèvements granulométriques sur les sites instrumentés.

Des graviers-petits galets équipés de PIT-TAG 12 mm et colorés ont été implantés par station. Chaque particule a fait l'objet de mesures de dimension de leur axe a et b (Figure 77).

Au total 57 particules ont été implantées sur chaque station (Figure 78).

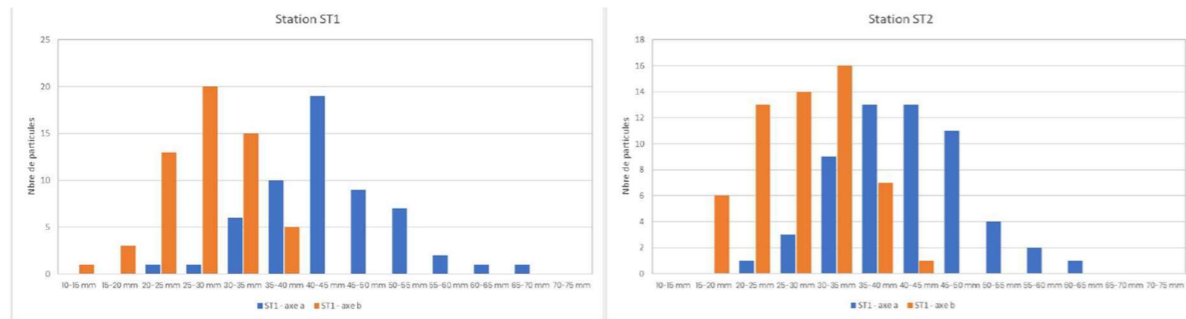


Figure 77 - Distribution des dimensions (axe b) des particules marquées.

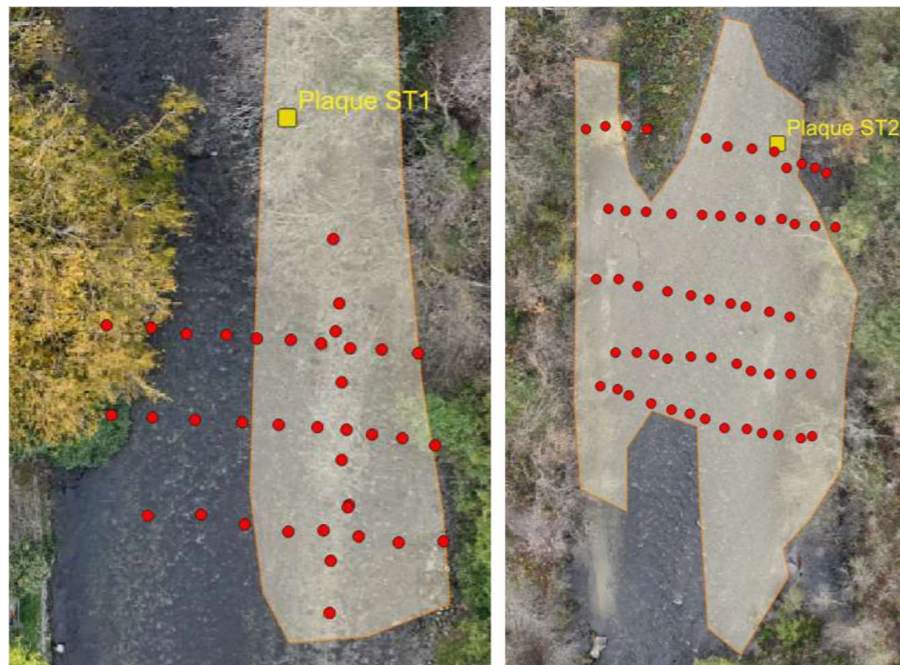


Figure 78 - Localisation des traceurs RFID et des plaques d'impacts sur ST1 et ST2.

Les particules ont été implantées dans des profondeurs au débit de base variant de 0 à 55 cm. A la station ST1, la majorité des particules ont été implantées dans des profondeurs comprises entre 15 et 30 cm. A la station ST2, deux habitats différents ont été sélectionnés, des zones de profondeurs situées entre 15 et 30 cm et des zones entre 40 et 55 cm (Figure 79, Figure 80).

En termes de vitesses d'écoulement, à la station ST1, les particules ont été implantées dans des vitesses variant de 0 à 75 cm/s avec un mode dominant entre 45 et 60 cm/s. A la station ST2, la majorité des particules a également été implantées dans des vitesses de 45 à 55 cm/s mais un certain nombre ont été positionnées dans des vitesses assez élevées (entre 70 et 105 cm/s, Figure 80).



Figure 79 - Diversité de conditions hydrauliques d'implantation des particules marquées.

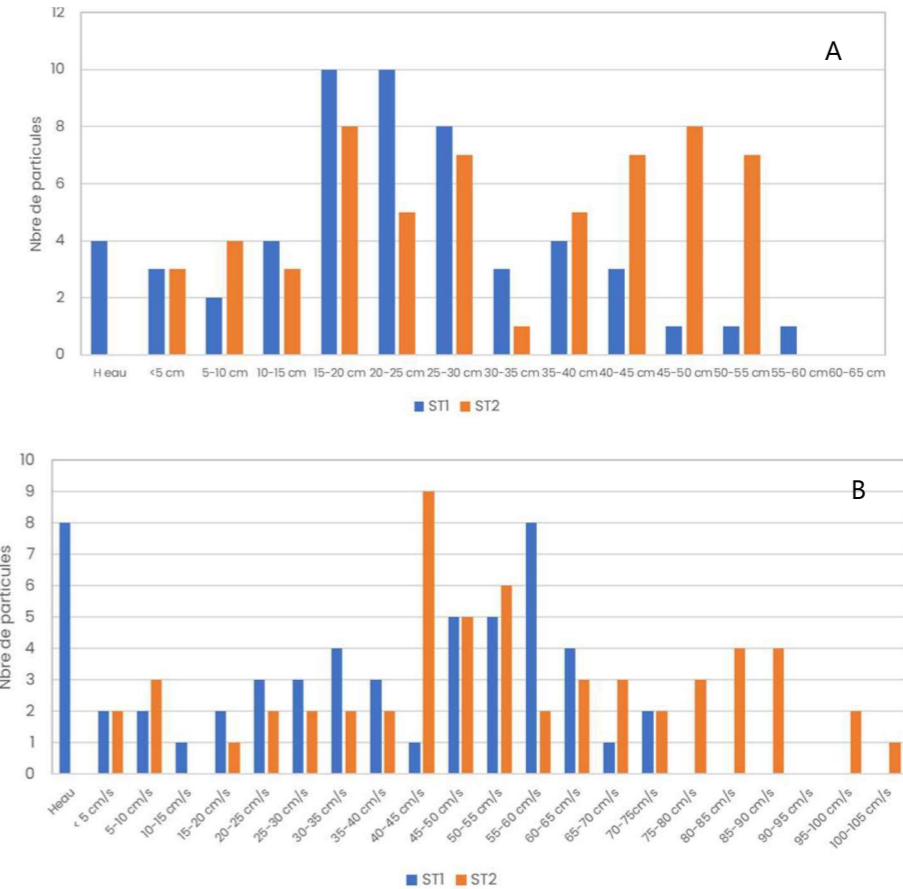


Figure 80 - Distributions (A) des hauteurs d'eau et (B) des vitesses au droit des particules marquées.

Situation hydrologique au cours du suivi

- Situation lors des expérimentations du 26-27/11/2024

Le 26 et 27/11/2024, l'hydrologie de l'Aude a varié entre 4 m³/s (débit de base) jusqu'à 16 m³/s⁻¹ correspondant à une éclusee de 9 m³/s⁻¹ à Nentilla (Qmax possible : 14 m³/s) et une éclusee de 3 m³/s⁻¹ à St-Georges en aval. Ces valeurs de débit correspondent aux éclusees caractéristiques de ce sites avec un très grande majorité d'évènements dont les débits maximaux à Belviane se situent entre 15 et 18 m³/s⁻¹. Ce débit maximal d'éclusee correspond à une valeur de 1.2 x le module au niveau des stations d'étude.

- Situation hydrologique du 27/11/2024 au 29/01/2025

Durant ces deux mois de suivi avec les plaques d'impact, les débits ont varié de 4 m³/s⁻¹ à 24 m³/s⁻¹. Sur cette période plus de 200 variations non naturelles de débits sont comptabilisées en utilisant l'Indicateur de Quantification des Perturbations Hydrologiques. Les éclusees ont atteint un débit maximal de 24 m³/s⁻¹ soit une valeur équivalente à 1.8 x le module.

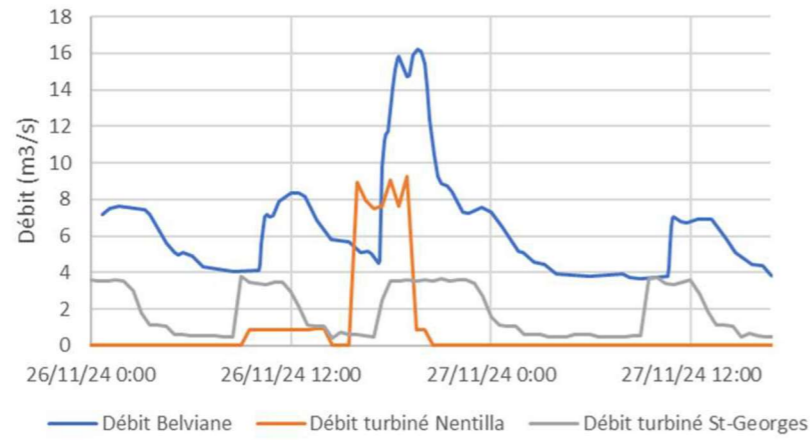


Figure 81 - Débits à la station de Belvianes et Cavirac et débits turbinés par les deux centrales amont les 26 et 27/11/2024.

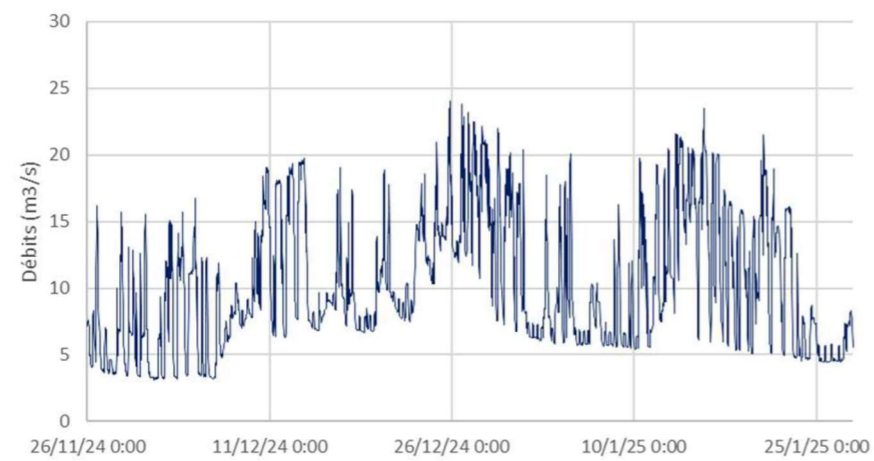


Figure 82 - Débits à la station de Belvianes et Cavirac du 27/11/2024 au 29/01/2025.

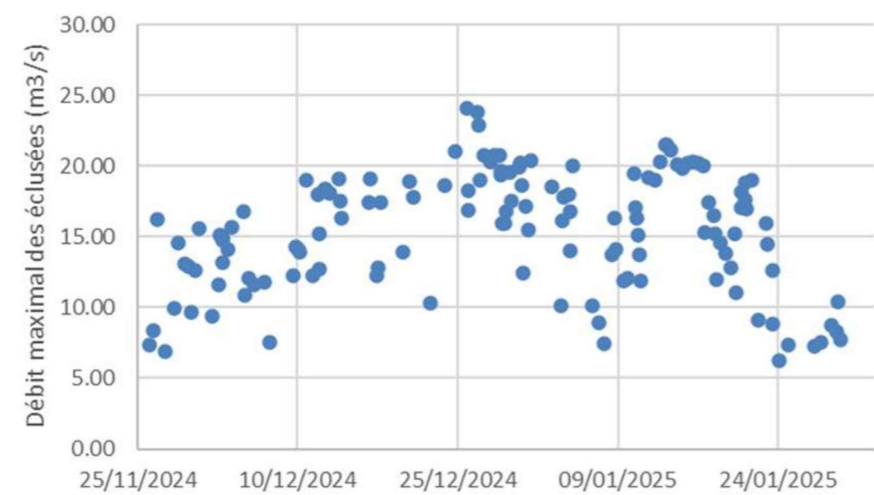


Figure 83 - Débits maximums des éclusées à la station de Belvianes et Cavirac du 27/11/2024 au 29/01/2025.

8.3. Résultats des plaques d'impacts

On observe un très faible nombre d'impact sur toute la période de mesure. Le nombre total d'impact compté par la plaque entre le 26/11/24 et le 29/01/2025, soit 65 jours d'exposition, est de 55, soit moins d'un impact par jour (Figure 84). A titre de comparaison, le nombre d'impact compté par les plaques sur la Dranse durant une période d'exposition de 84 jours, soit 1.3 fois plus longtemps, est compris entre 160 000 et 500 000 selon les sites équipés.

Le nombre d'impact détectés est donc négligeable et ne peut pas être considéré comme témoignant d'une mobilité sédimentaire active sur l'Aude durant la période de mesure.

Lorsque l'on représente le nombre d'impact en fonction du débit, aucune relation claire ne semble apparaître. Non seulement le nombre de valeurs associées à un compte d'impact est très faible (seulement 15 valeurs) mais de plus ces valeurs ne semblent pas varier de manière cohérente avec le débit (Figure 85).

Sur la période de mesures, ces observations indiquent que les éclusées pratiquées par l'usine de Nentilla ne provoquent pas de mobilité sédimentaire sur les SGF.

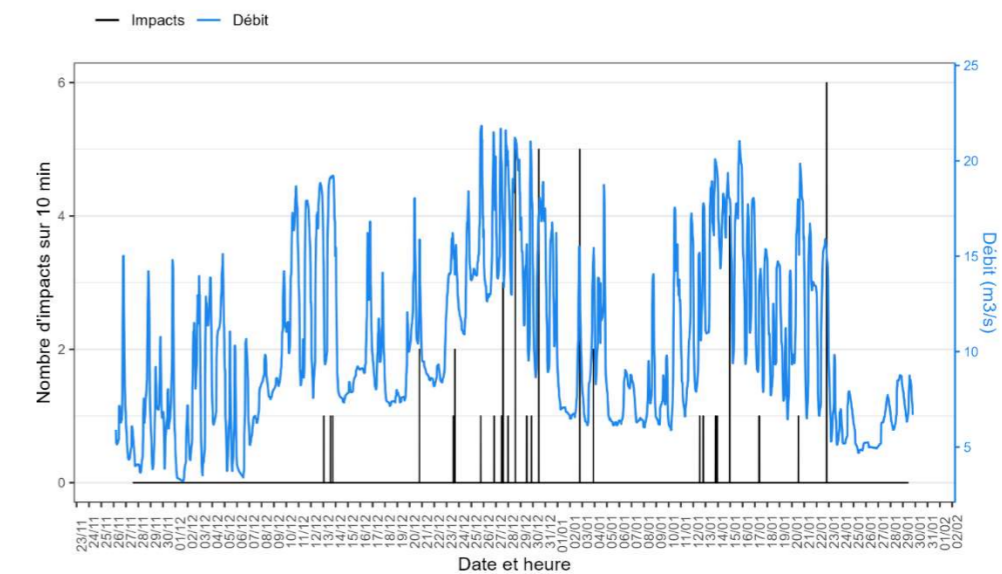


Figure 84 - Nombre d'impacts enregistrés sur la plaque sur l'Aude.

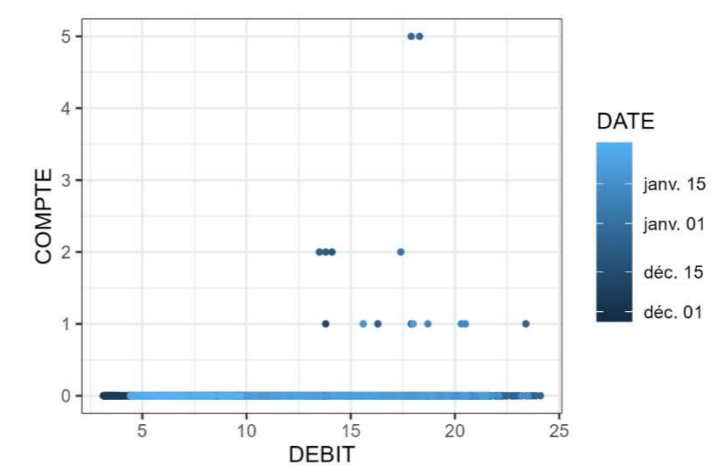


Figure 85 - Relation nombre d'impacts et débits enregistrés sur la plaque sur l'Aude.



8.4. Résultats des particules peintes et tracées par RFID

8.4.1. Station ST1

Sur cette station, les 57 particules ont été retrouvées. Un seul mouvement significatif a été enregistré avec un gravier qui s'est déplacé de 80 cm en aval de sa position initiale (Figure 86).

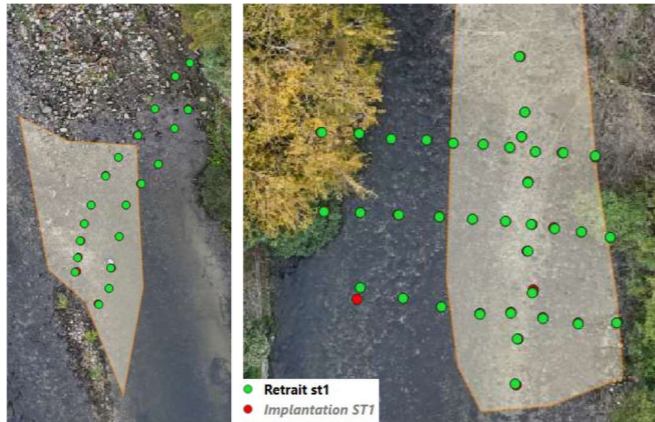


Figure 86 - Positions des particules à ST1 pré et post-éclusée.

8.4.2. Station ST2

Sur cette station, 55 particules sur 57 ont été retrouvées. Deux ont quitté la zone malgré des recherches sur une distance de 50 m en aval. 1 particule a été retrouvée avec un déplacement de 80 cm vers l'aval (Figure 87).

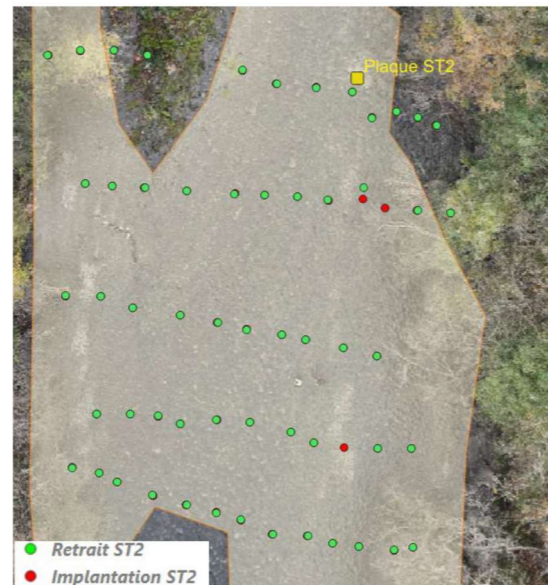


Figure 87 - Positions des particules à ST2 pré et post-éclusée.

La mobilité des particules marquées a donc été extrêmement limitée puisque seulement 4 particules sur 114 ont bougé avec 2 mouvements limités à moins de 1 m et deux mouvements beaucoup plus importants à plus de 50 m.

8.5. Puissance spécifique du cours d'eau

Nous avons calculé la puissance spécifique du cours d'eau sur les 2 zones de frayères aux débits max du suivi :

- 22 m³/s à la station ST1 (période 27/11/2024 au 29/11/2024),
- 16 m³/s à la station ST2 (suivi du 26-27/11/2024).

La puissance maximale à la station ST1 a été de 85 W/m² et de 45 W/m² à la station ST2.

La comparaison de ces résultats avec ceux issus de la littérature (Figure 10) montre une cohérence, indiquant une absence de réajustements morphologiques (tronçon peu actif en dessous du seuil des 25 à 35 W/m²).



La Romanche

9. La Romanche

9.1. Localisation

Le site de suivi de la mobilité est situé en amont du Bourg d'Oisans, à 800 mètres en aval de la confluence entre la Romanche et le Vénéon. La Romanche subit l'influence des lâchers d'eau du barrage du Clapier, situé 700 mètres en amont de cette confluence (Figure 88).

Ce site présente des caractéristiques particulières :

- Son cours en tresses, très mobile en raison des apports solides et liquides du Vénéon.
- Les variations rapides du niveau de l'eau dues aux éclusées du barrage du Clapier, compliquant et rendant dangereuses l'accès au lit et l'instrumentation.

C'est pourquoi, contrairement aux autres sites, nous avons adapté notre suivi en mettant en place des placettes colorées, complétées par des levés topographiques et des prises de vues aériennes successives par drone.

Site de la Romanche

Présentation du site

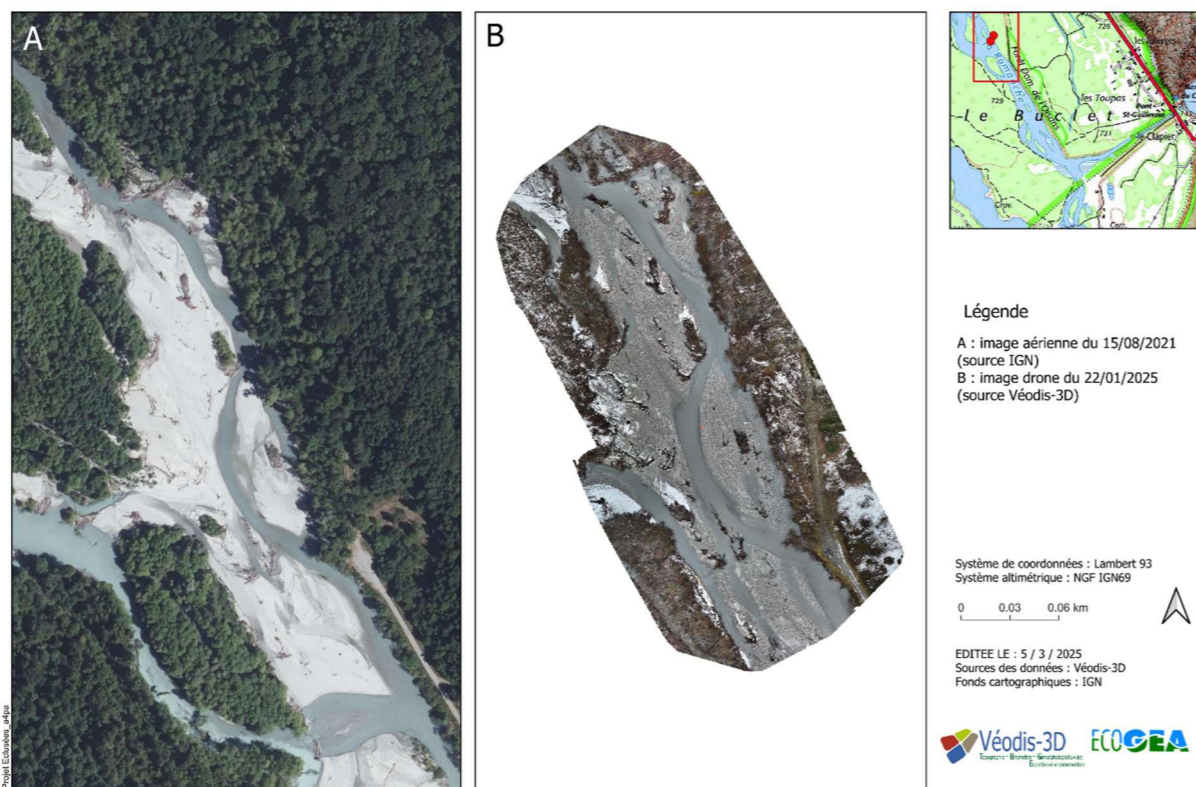


Figure 88 - Présentation du site d'étude de La Romanche.

9.2. Suivis réalisés et planning

9.2.1. Mise en place de plaques d'impacts

L'objectif de ce suivi était de d'observer la mobilité sédimentaire en lien avec les éclusées, à l'aide deux plaques d'impacts (P1, P2), disposée en rive droite, 800 m en aval de la confluence avec le Vénéon (Figure 89, Figure 90).

L'implantation a été réalisée le 24/05/2023 couplée à des levés de profils en travers au droit des plaques et mesures de vitesse de courant. Les plaques ont été installées au droit de SGF présent à l'interface lit e eau et banc d'alluvionnement.



Figure 89 - Installation des plaques d'impacts le 24/05/2023.

Site de la Romanche

Localisation des plaques d'impacts le 24/05/2023

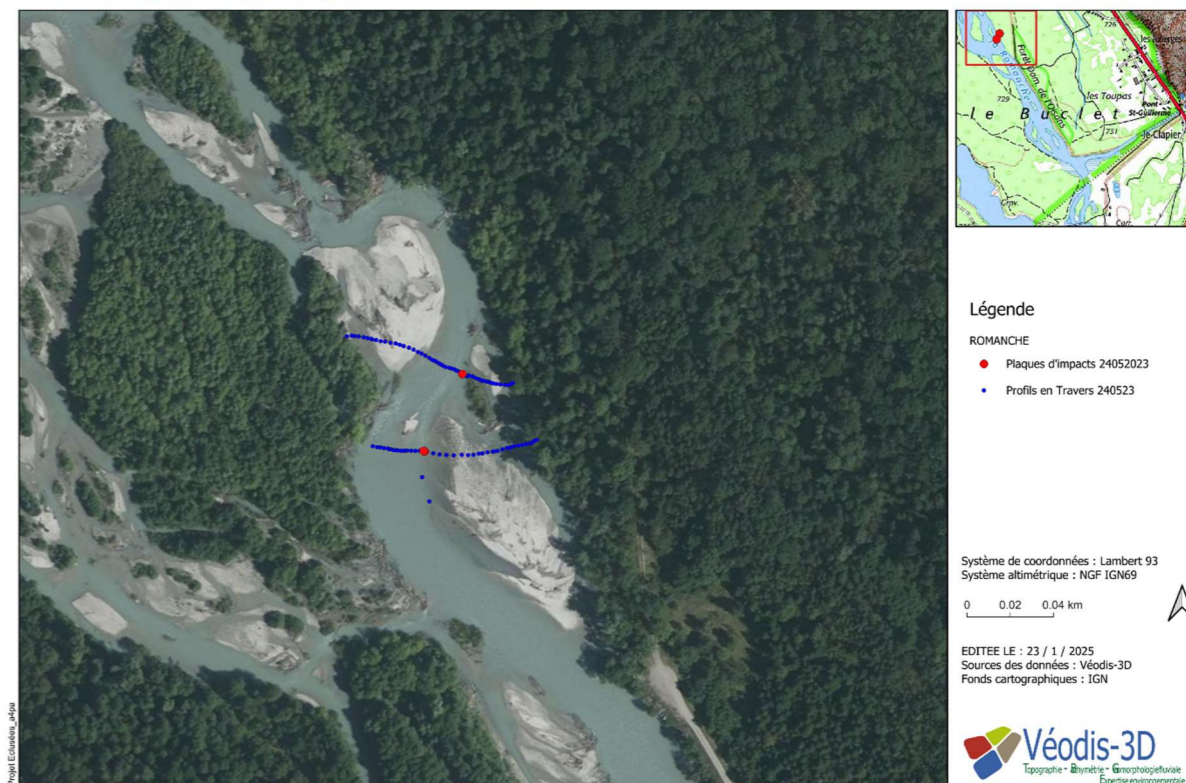


Figure 90 - Carte de localisation des plaques.

Lors de la visite du site le en octobre 2023, les plaques n'ont pas été retrouvées malgré les recherches au droit des plaques et en aval. Au droit des plaques, nous avons constaté une modification du tracé et une élévation de l'ordre de 50 cm du niveau du fond du lit pour la plaque P1 et une incision de 40 cm au droit de la plaque P2.

Suite à la crue de juin 2023, la morphologie de la zone de tressage a été fortement bouleversée (Figure 91). L'accès au site était impossible en raison du creusement du chenal de rive droite, chenal qui s'est de nouveau modifié, rendant l'accès de nouveau possible, suite aux évènements de fin 2024.

La manipulation plaque d'impact a par conséquent été abandonnée. Le choix a donc été fait de tester un nouveau protocole de suivi, allégé et plus simple à mettre en œuvre.

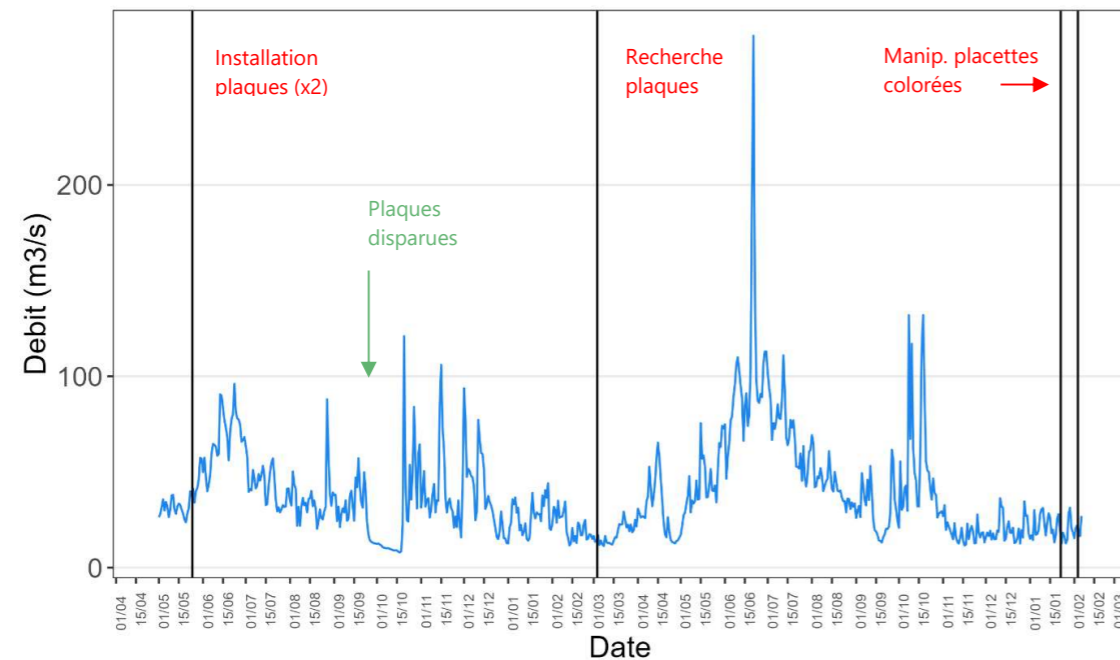


Figure 91 - Hydrogramme des débits journaliers enregistrés à la station de Bourg d'Oisans (DREAL Pont Rouge).

9.2.2. Mise en place de placettes colorées, topographie fine et drone

L'expérimentation visant à mieux caractériser le débit seuil de mise en mouvement des particules d'intérêt se fonde sur la mise en œuvre de placettes colorimétriques et de faire le suivi de la mobilité de ces placettes par (1) vols drone et, (2) prise de photographies verticales et obliques afin de produire des modèles 3D de chacune des placettes.

La mission d'instrumentation s'est déroulée le 22/01/2025. Lors de cette journée, la cinétique de l'intervention a été la suivante :

1. Mise en place de 8 placettes colorimétriques d'environ 1 m² de surface. Ces placettes ont été positionnées à l'interface eau/chenal en eau, pour un débit de l'ordre de 15 m³.s⁻¹ au droit de SGF.
2. Prise de vues verticales pour analyse de la mobilité des particules et granulométrie.
3. Prise de vues obliques pour analyses photogrammétriques : évolution de la topographie de la placette.
4. 2 vols drone pour analyse des modifications morphologiques et des niveaux d'eau.

Une seconde campagne de mesure s'est déroulée le 03/02/2025. Lors de cette campagne toutes les mesures réalisées lors de l'instrumentation ont été reproduites.

Site de la Romanche

Localisation des placettes colorimétriques



Figure 92 - Localisation des placettes colorimétriques mise en place le 22/01/2025.



Figure 93 - Exemple de placette colorimétrique.



9.2.2.1. Méthode

La mobilité des particules a été évaluée visuellement en comparant les photos aux deux dates. Pour cela les photos de chaque placette ont été remises à l'échelle. Après la mise en place des 8 placettes colorimétriques le 22/01/2025, une pluie est venue lessiver la peinture encore fraîche. Cela nous a empêché de retrouver la placette n°5 qui n'a donc pas été traitée.

Chaque paire de photo a été analysée intégralement. De plus, sur chaque placette, trois cercles ont été tracés pour focaliser la comparaison sur des zones contenant différentes granulométries (des cailloux fins aux pierres fines), afin de faciliter la visualisation des résultats (Figure 95 à Figure 101).

9.2.2.2. Résultats

Entre le 22 janvier 2025 et le 3 février 2025 on dénombre 8 éclusées (Figure 94). Les débits observés sont compris entre $11.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et $44.1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ soit 3.5 fois le module mensuel du mois de janvier à la station de Pont-Rouge ($12.5 \text{ m}^3/\text{s}$) selon hydroportail (débit maximum relevé le 24/01/25 à 10h20).

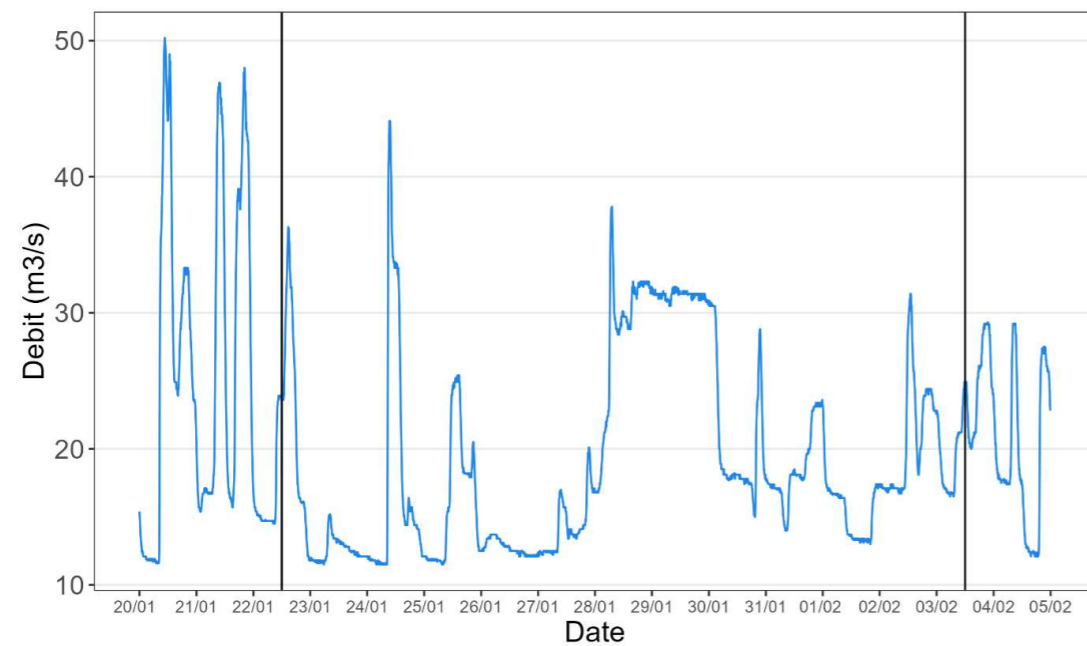


Figure 94 - Hydrogramme de la Romanche à la station de Pont-Rouge du 22/01/25 au 03/02/25

L'étude comparative des photographies (Figure 95 à Figure 101) ne montre aucun mouvement de particules sur les 7 placettes traitées. À noter que l'absence de couleur sur les images de la seconde mission s'explique par la disparition des marquages sous l'effet d'une pluie survenue peu de temps après l'instrumentation.

L'analyse des images montre que les plus petites particules n'ont pas bougé.

On en conclut que le seuil de mise en mouvement des particules dans la gamme de granulométrie étudiée n'a pas été atteint et par conséquent est inférieure au débit max atteint sur la période, égal à $44.1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

22 Janvier 2025

3 Février 2025

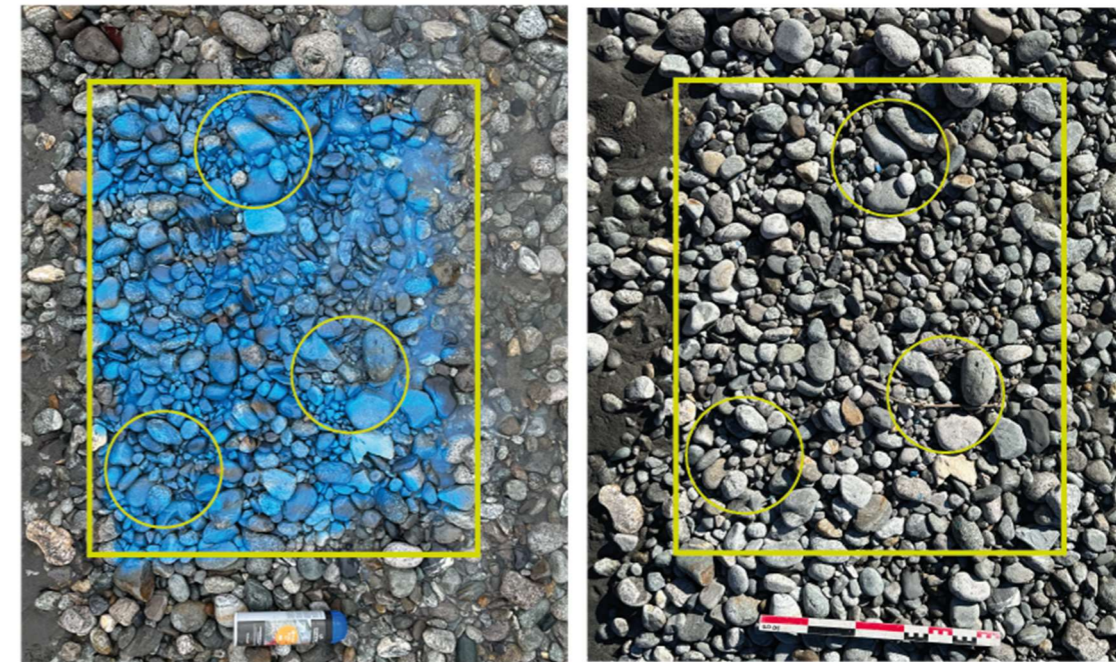


Figure 95 - Placette colorimétrique n°1.

22 Janvier 2025

3 Février 2025

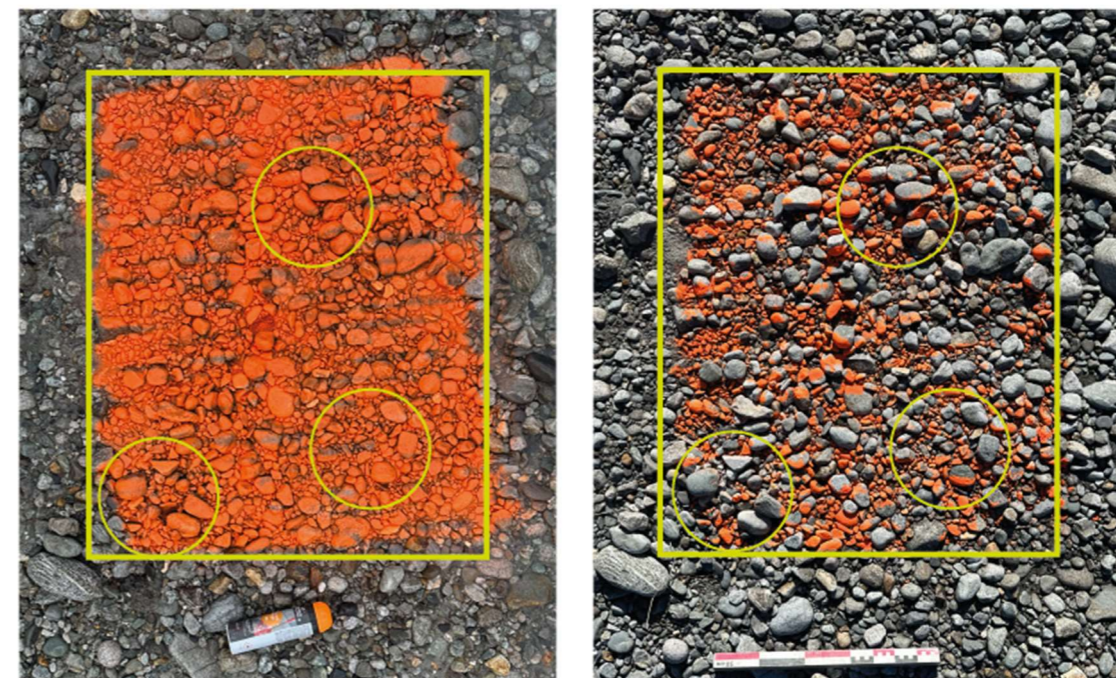


Figure 96 - Placette colorimétrique n°2.



22 Janvier 2025

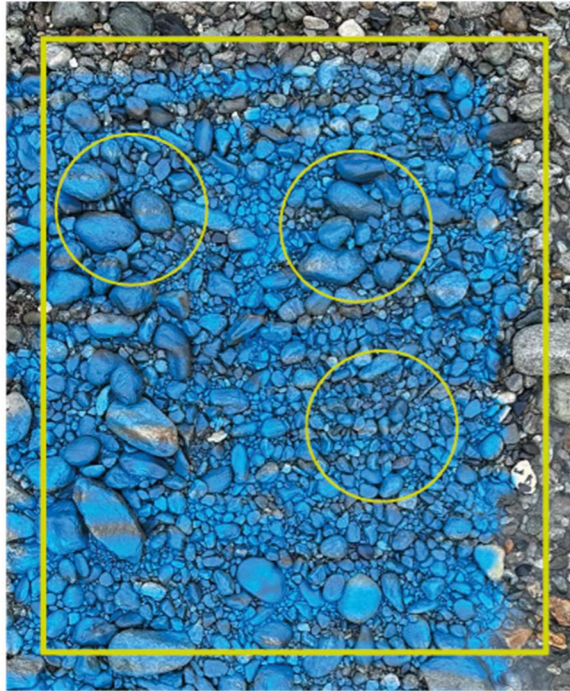
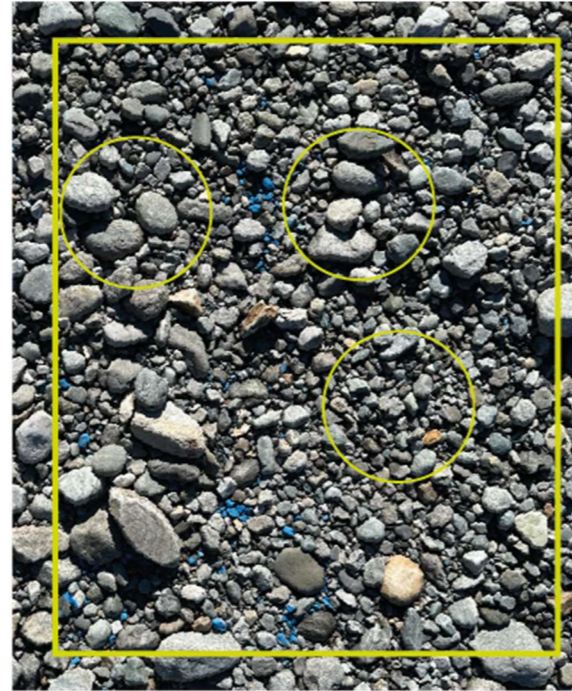


Figure 97 - Placette colorimétrique n°3.

3 Février 2025



22 Janvier 2025

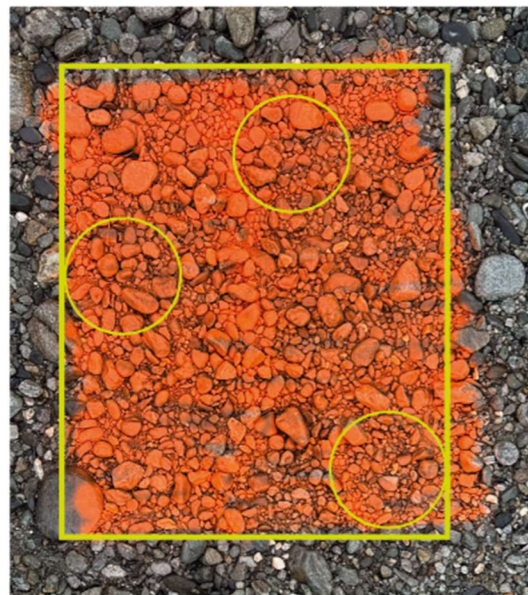
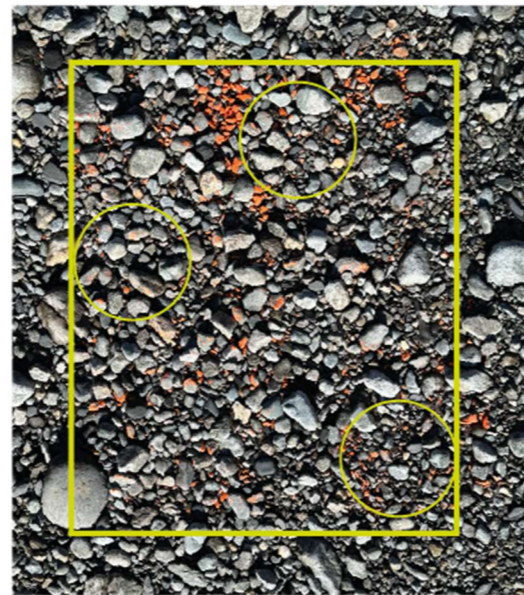


Figure 98 - Placette colorimétrique n°4.

3 Février 2025



22 Janvier 2025

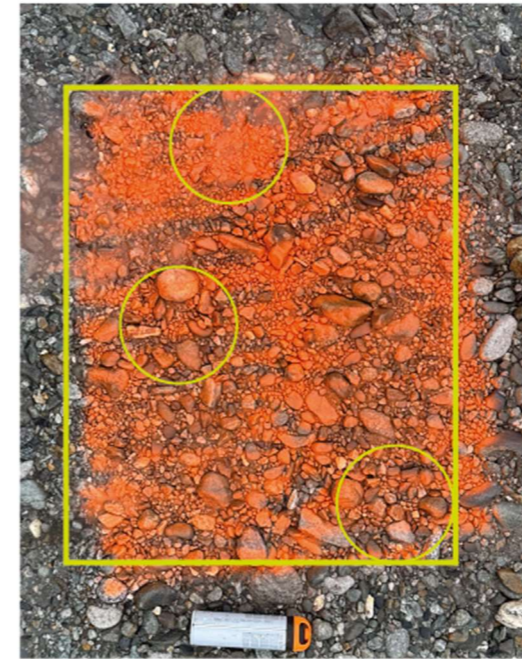
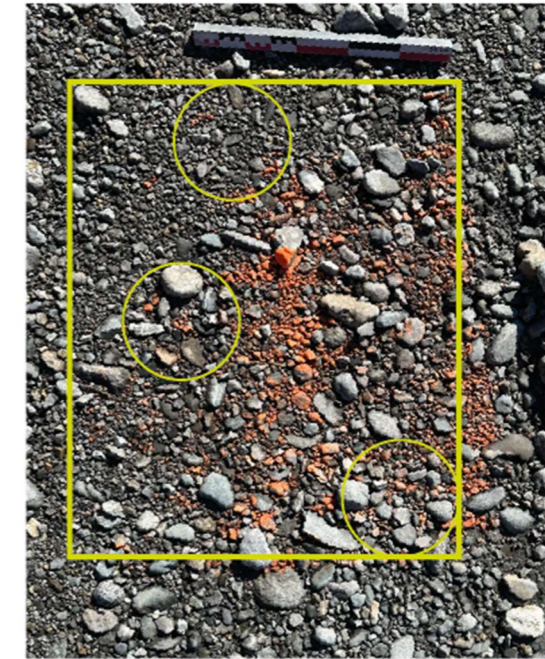


Figure 99 - Placette colorimétrique n°6.

3 Février 2025



22 Janvier 2025

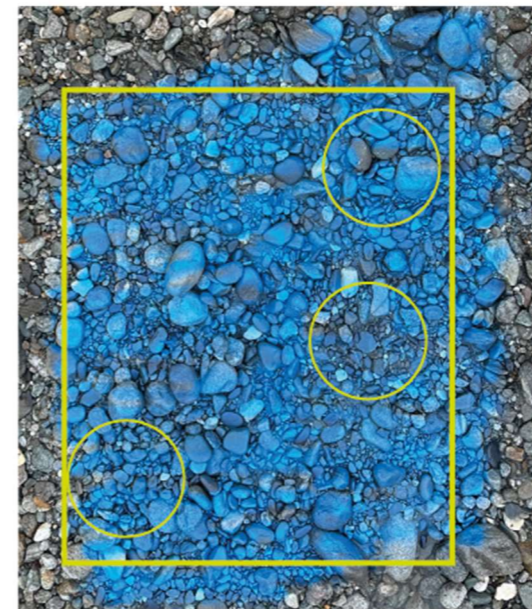
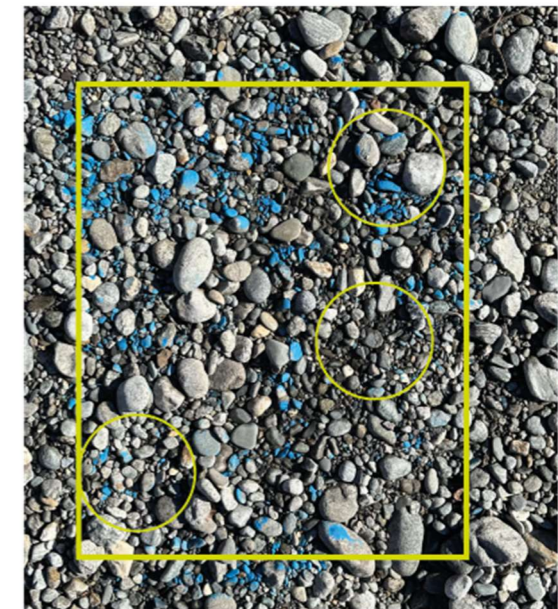


Figure 100 - Placette colorimétrique n°7.

3 Février 2025





22 Janvier 2025

3 Février 2025

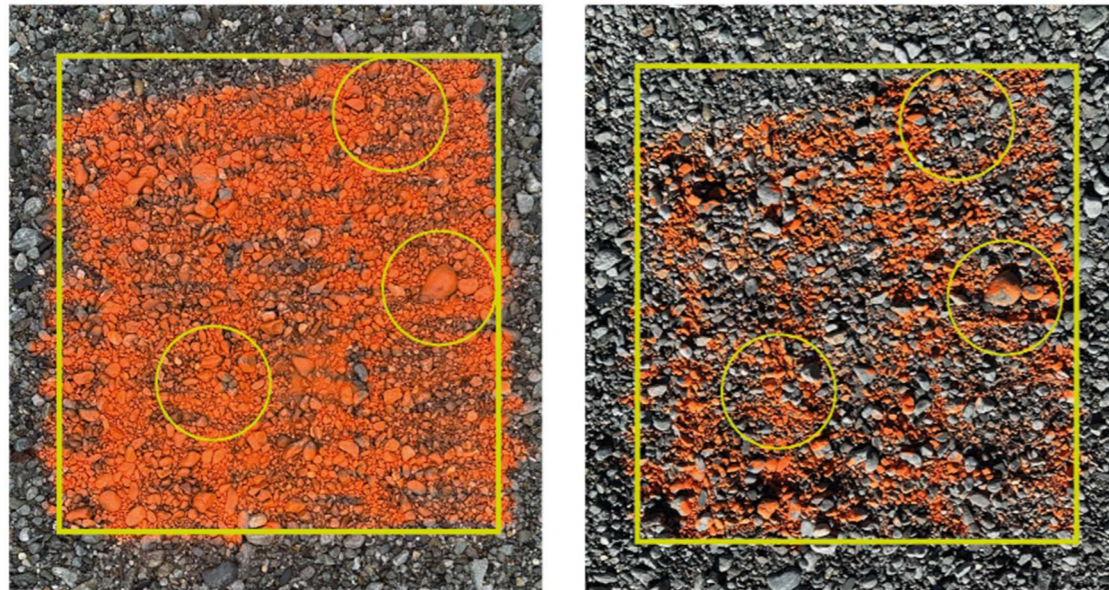


Figure 101 - Placette colorimétrique n°8.

En raison de l'absence de mobilité, les modèles 3D texturé issus des analyses photogrammétriques ne montrent également aucune modification de la topographie de surface et n'ont, de ce fait, pas tous été traités.

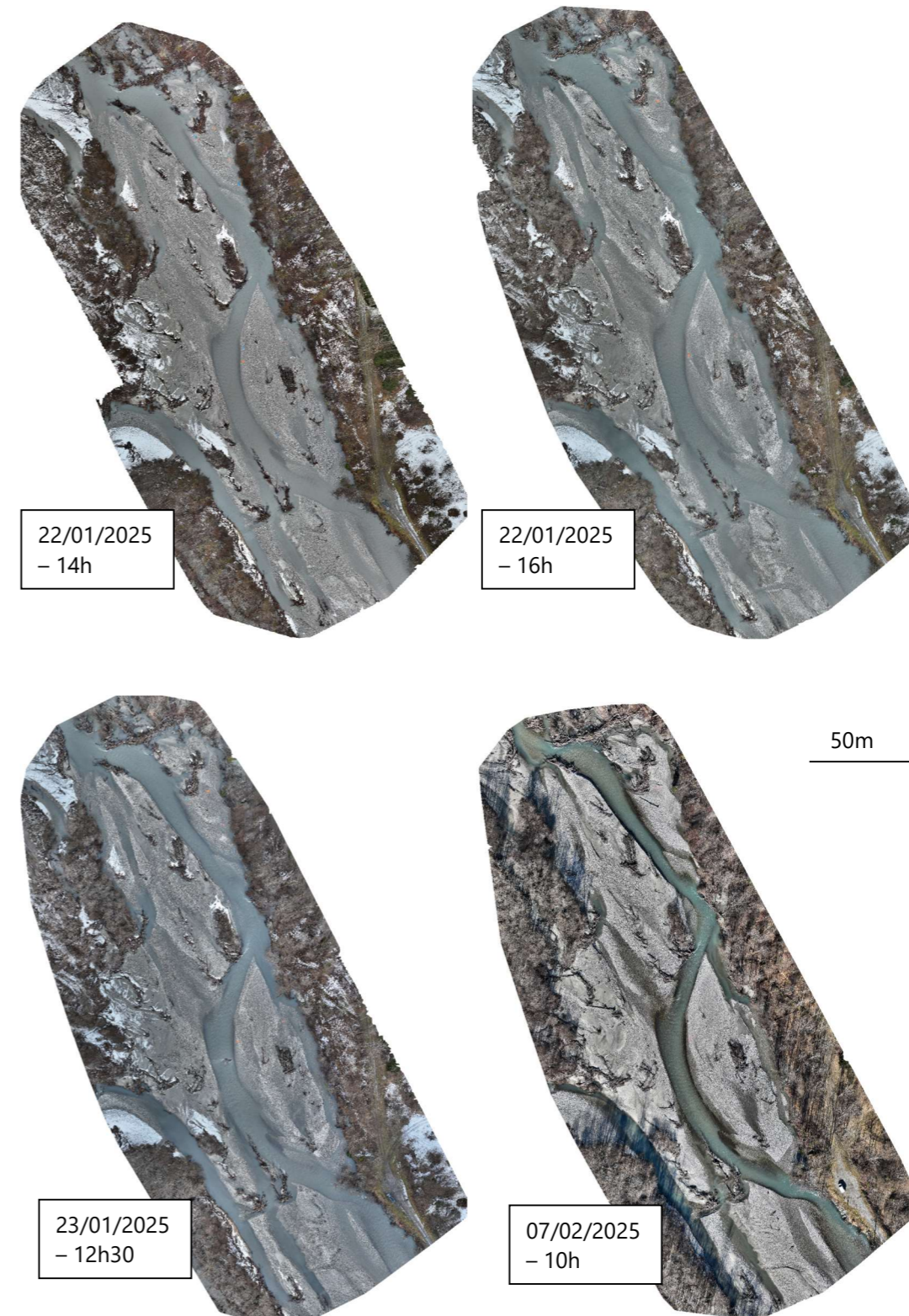
La Figure 102 illustre un modèle 3D d'une placette obtenue par photogrammétrie.



Figure 102 - Exemple de Modèle 3D obtenus pour analyser les changements de topographie de surface.

L'analyse des images drone (4 vols, avant, pendant, à la suite d'une éclusée et quelques jours après) ne montre également aucune modification de la morphologie du lit.

On note toutefois, localement, lors de la visite de terrain du 3 février 2025 la présence de plus de dépôts sableux.





Le Jaur

10. Le Jaur

10.1. Localisation

Le sites de suivi de la mobilité se situe au droit du village de Beauséjour au lieu-dit La Plaine, à environ 2 km de la restitution de l'usine de Montahut (Figure 103).

Il est situé au droit d'un radier, à l'aplomb de la falaise située en rive gauche.

Site du Jaur

Localisation des sites de suivi



Figure 103 - Présentation du site d'étude du Jaur.

10.2. Suivis réalisés et planning.

Pour le choix des sites, la présence de successions de faciès et de zones de frayères caractéristiques du tronçon soumis aux éclusées ont été des critères de sélection. Des échanges d'informations et une convention avec l'exploitant EDF a permis de réaliser les suivis dans de bonnes conditions.

Un site a été retenu en tenant compte de ces critères (Figure 103, Figure 104) :

- Beauséjour (ST1), situé à 3.0 km de la restitution de l'usine de Montahut (pente 0.8%, largeur étiage : 8.6 m) succession de radier/mouille.

Le site a été sélectionné sur la base de la présence de surfaces granulométriquement favorable (SGF) à la reproduction des truites et des cyprinidés d'eau vive. Une grande zone de SGF a été identifiée représentant 7.5% de la surface du lit mouillé d'étiage.



Figure 104 - Photographie du site sur lequel suivi a été réalisé.

L'objectif de ce suivi était d'observer la mobilité sédimentaire en lien avec les éclusées, à l'aide de :

- deux plaques d'impact (P1, P2), disposées sur la station en amont immédiat des zones de SGF. Les deux plaques ont été maintenues en place 30/04/2025 au 16/06/2025. Cet équipement a été complété par l'installation de deux capteurs de pression, dont un à l'air libre, afin de mesurer les variations de niveau d'eau. Les capteurs ont été installés du 30/04/2024 au 16/06/2025. Les données ont été enregistrées à un pas de temps de 10 min.
- de 61 particules marquées (graviers-petits galets équipés de PIT-TAG 12 mm) et colorés implantées sur une zone de frayère potentielle. Chaque particule a fait l'objet de mesures de dimension de leur axe a et b (Figure 105).
- de 2 placettes peintes sur deux bancs d'alluvions exondés.

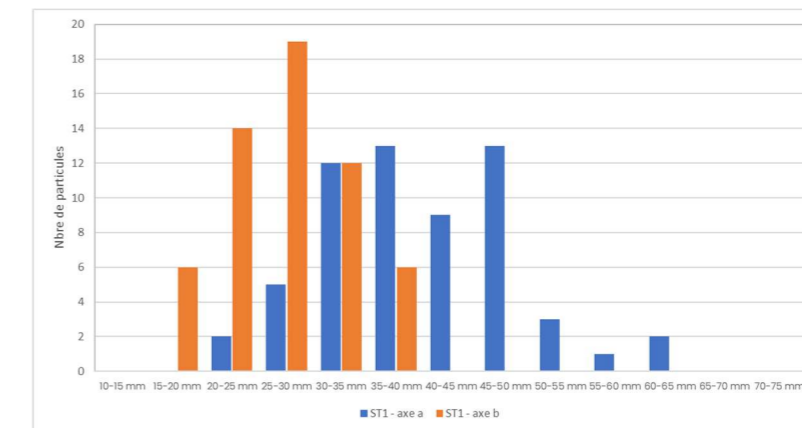


Figure 105 - Distribution des dimensions (axes a et b) des particules marquées.

Les particules ont été implantées dans des profondeurs au débit de 5 m³/s variant de 0 à 65 cm. La majorité des particules ont été implantées dans des profondeurs comprises entre 25 et 40 cm (Figure 106).

En termes de vitesses d'écoulement les particules ont été implantées dans des vitesses variant de 0 à 105 cm/s avec une majorité de particules dans des vitesses entre 10 et 135 cm/s (entre 70 et 120 cm/s (Figure 106, Figure 107).

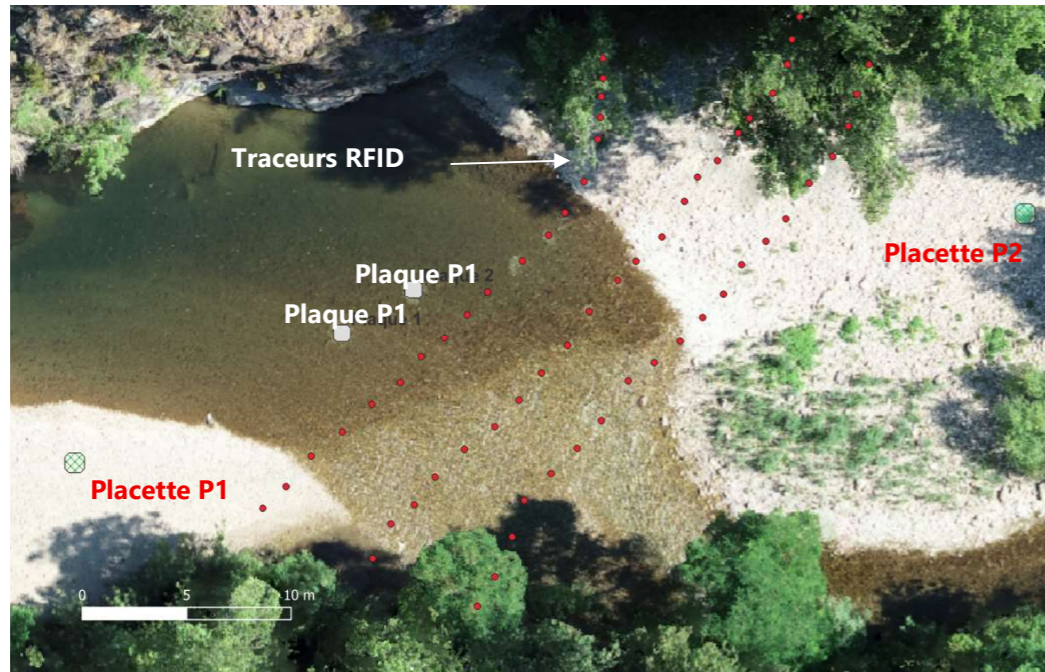


Figure 106 - Localisation des traceurs RFID, des plaques d'impacts et des placettes peintes.



Figure 107 - Diversité de conditions hydrauliques d'implantation des particules marquées.



Figure 108 - Vues de l'implantation des 2 plaques d'impacts.

Tableau 10 : Caractéristiques hydrauliques sur les 2 plaques d'impact à 5 m³/s.

N° plaque impact	Hauteur d'eau à 5 m ³ /s	Vitesse à 0.4 h
1	49	67 cm/s
2	60	62 cm/s

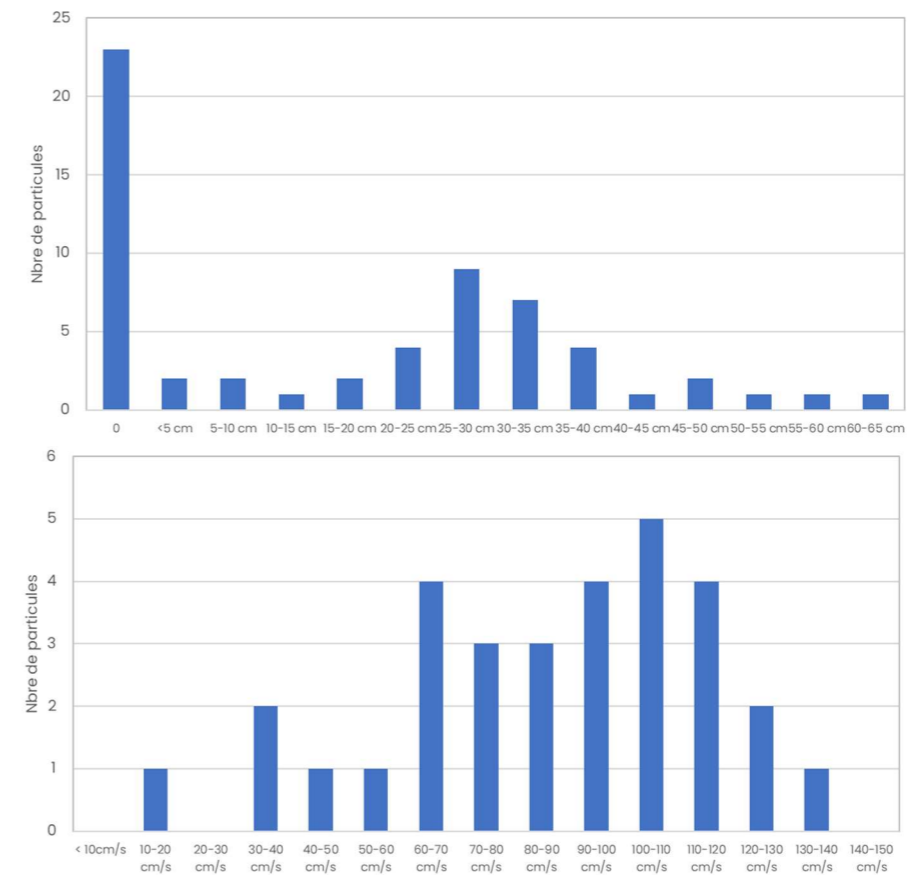


Figure 110 - Vue des 2 placettes peintes



10.3. Situation hydrologique au cours du suivi

Les débits sont issus des données hydrologiques de la station hydrométrique d'Olargues (Y20400204) et des données de débits turbinés fournis par l'exploitant EDF (Figure 111, Figure 112).

Durant les 1.5 mois de suivi avec les plaques d'impact et les galets marqués, les débits à la station d'étude ont varié de $2 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ à $58 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$. Sur cette période plus de 60 variations non naturelles de débits sont comptabilisées en utilisant l'Indicateur de Quantification des Perturbations Hydrologiques. Les éclusées ont atteint un débit maximal de $30 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ soit une valeur équivalente à 8.3 x le module. Durant cette période, le Jaur a connu une crue le 11 et 12/05 avec un pic de débit maximal journalier à $68 \text{ m}^3/\text{s}$. Ce débit est issu des apports du Jaur amont ($56 \text{ m}^3/\text{s}$) et d'une éclusée de $12 \text{ m}^3/\text{s}$.

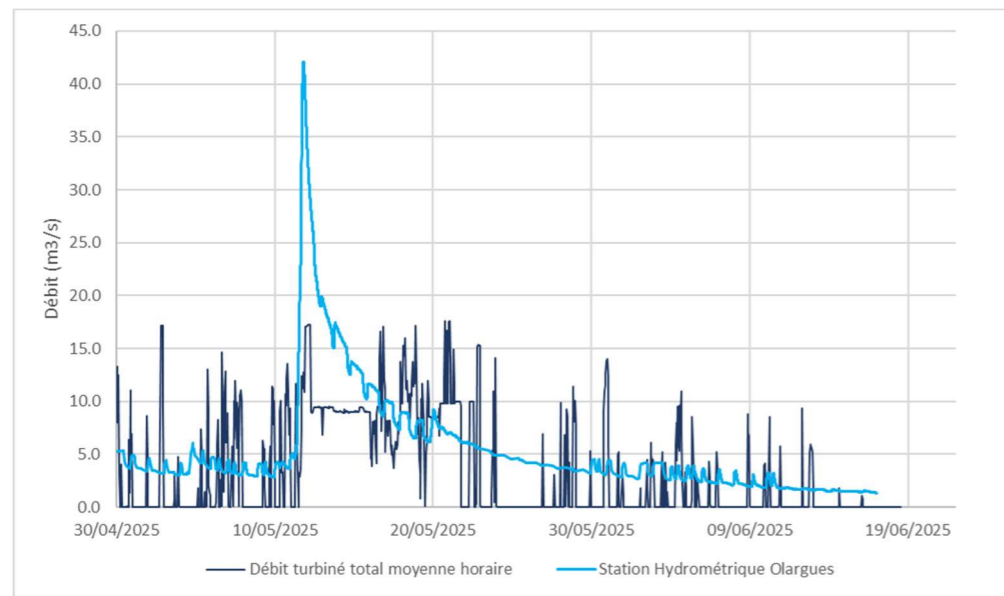


Figure 111 - Débits à la station d'Olargues (données Hydroportail) et débits turbinés à la centrale de Montahut (données EDF) du 30/04/2025 au 16/06/2025

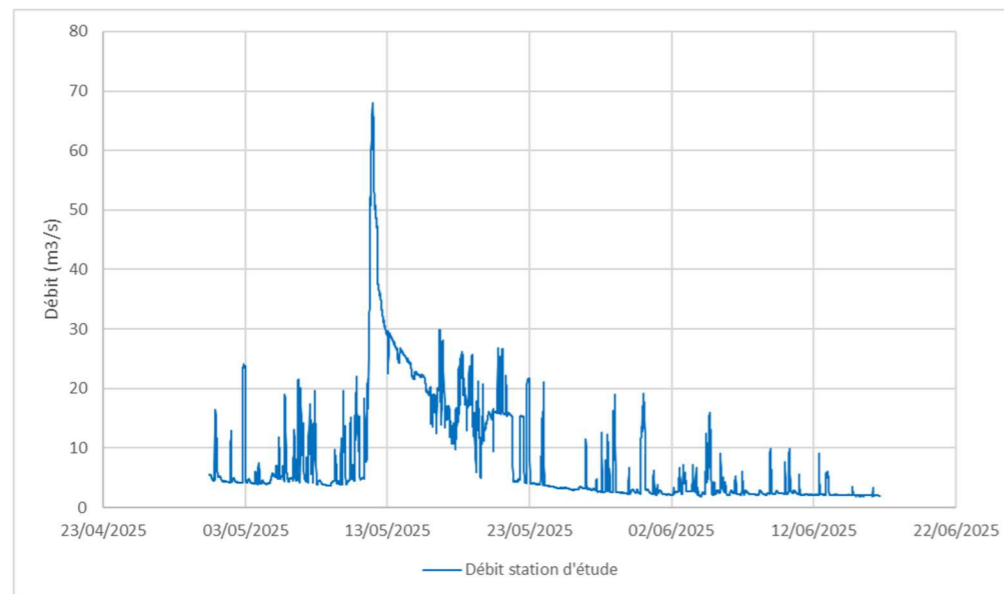


Figure 112 - Débits reconstitués à la station d'étude (Station Olargues+turbinés+apports BVI) du 30/04/2025 au 16/06/2025

10.4. Caractéristiques de la zone de frayère

La zone de frayère étudiée se situe à la transition d'une mouille et d'un radier avec des bancs d'alluvions de part et d'autre (Figure 113).

La granulométrie de surface de la frayère est dominée par les fractions de cailloux (fins et grossiers) accompagnées de graviers grossiers et de pierres fine (Figure 114).



Figure 113 - Vues de la frayère étudiée sur le Jaur.

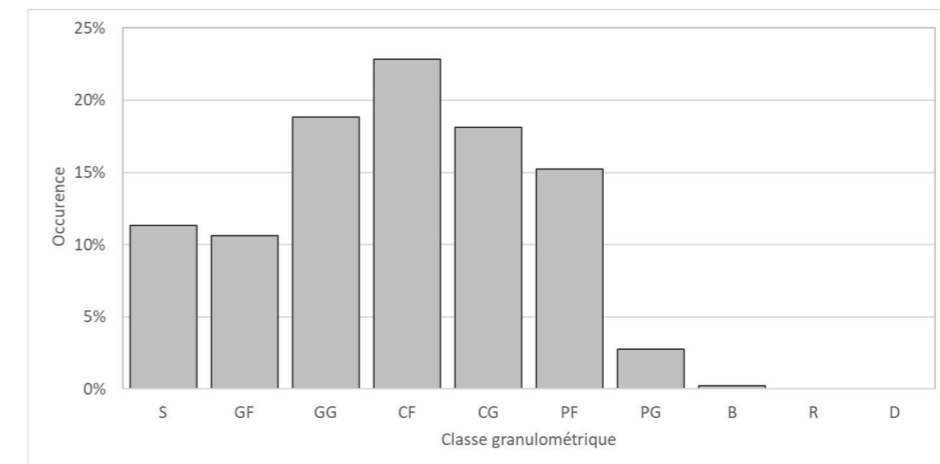


Figure 114 - Composition granulométrique de surface de la frayère du Jaur.

10.5. Résultats des plaques d'impacts

Sur la plaque P1, on observe sur la Figure 115 un pic du nombre d'impact lors de la crue du 11/06 d'un débit max de $68 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. En dehors de cette crue, il semble que l'activité de transport sédimentaire soit nulle tout le reste du temps de mesure, y compris en phase d'écluée.

Plus précisément, on compte un total de 5215 impacts sur la totalité de la période de mesure dont 5213 se sont produits entre le 11/06 à 00:00 et le 12/06 à 23:59. Seuls deux impacts ont eu lieu en dehors de cette période de crue. Hormis deux impacts ayant été compté à 19:40 le 12/05, la totalité des impacts, soit 5211, s'est produite entre le 11/05 à 18h10 et le 12/05 à 07h40 ce qui correspond à une durée de 13h30. Cela correspond à une moyenne de 386 impacts par heure et 64 impacts toutes les 10 minutes soit 6 impacts par minute. Le nombre maximum d'impact comptabilisés sur le pas de mesure de 10 minutes est de 279. A titre de comparaison, le maximum observé sur la Dranse sur un pas de temps de 10 minutes est de 2946, et de 160 sur la Bourne.

En s'intéressant plus spécifiquement à la période de la crue du 11/05 au 12/05 on constate un débit seuil de mise en mouvement correspondant à une hauteur d'eau de 1.67 m et $52 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

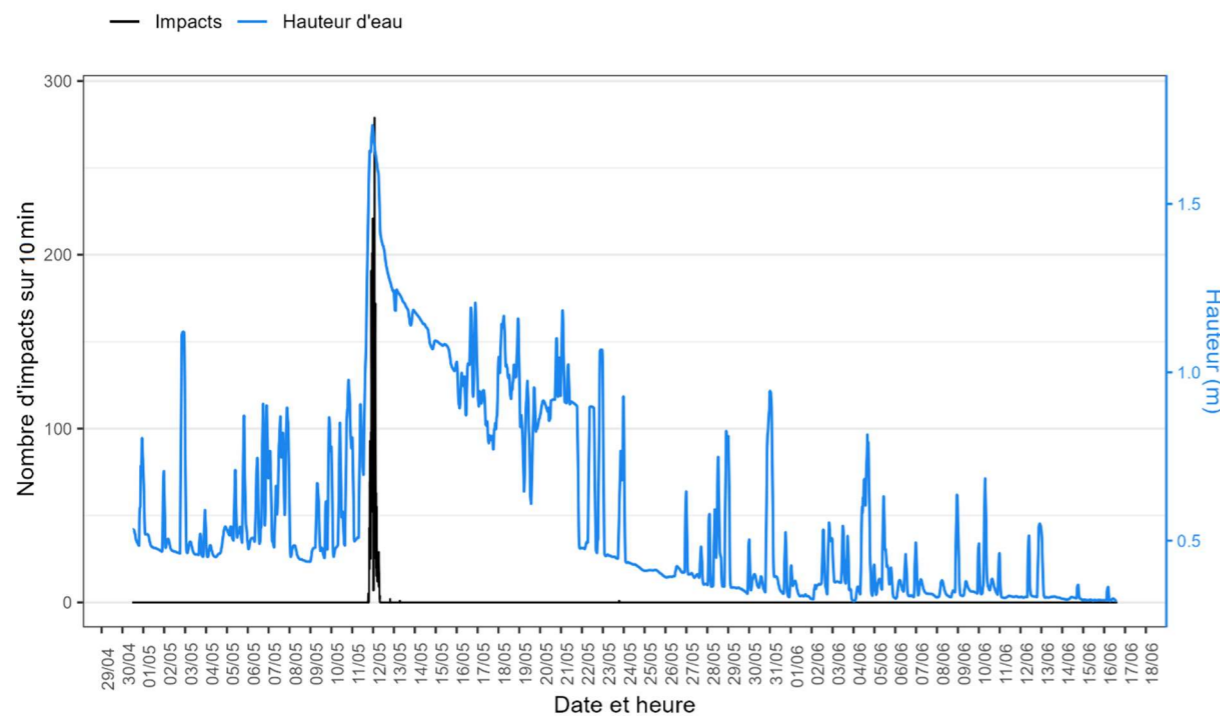


Figure 115 - Hydrogramme et chronique du nombre d'impacts durant la période de mesure sur la plaque P1.

La dynamique du transport sédimentaire mesuré est bimodale, avec deux pics d'intensité au cours de la crue, pour un débit variant entre 52 et $38 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Figure 116). La réduction de l'intensité du transport solide entre les deux pics au cours de la crue se produit pour un débit de $66 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, proche du débit de pointe de la crue. Cela montre bien un phénomène de transport sédimentaire se déroulant en deux temps, non-relé à une hydrologie qui suivrait la même cinétique. On peut formuler l'hypothèse du passage de deux vagues sédimentaires durant la crue provoquant cette bimodalité dans les mesures.

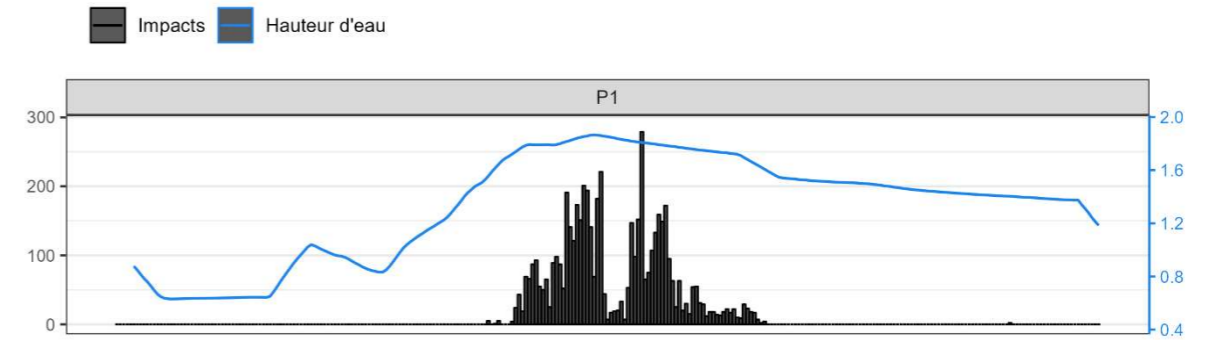


Figure 116 - Hydrogramme et chronique du nombre d'impacts durant la période de mesure sur la plaque P1 durant la crue du 11/06.

Sur la plaque P2, on observe sur la Figure 117, un pic du nombre d'impact lors de la crue du 11/06 d'un débit max de $68 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. En dehors de cette crue, il semble que l'activité de transport sédimentaire soit nulle tout le reste du temps de mesure, y compris en phase d'écluée. Ces observations sont identiques à celles faites sur la plaque P1.

L'intensité du transport solide observée sur la plaque P2 est cependant largement inférieure à celle de la plaque P1. Plus précisément, on compte un total de 342 impacts sur la totalité de la période de mesure qui se sont tous produits entre le 11/06 à 00:00 et le 12/06 à 23:59. La totalité des impacts s'est même produite entre le 11/05 à 18h20 et le 12/05 à 07h30 ce qui correspond à une durée de 13h10. Cela correspond à une moyenne de 26 impacts par heure et 4.3 impacts toutes les 10 minutes soit 0.43 impacts par minute. L'activité moyenne sur la plaque P2 équivaut donc à $(26/386) \cdot 100 = 6.7\%$ de l'activité sur la plaque P1.

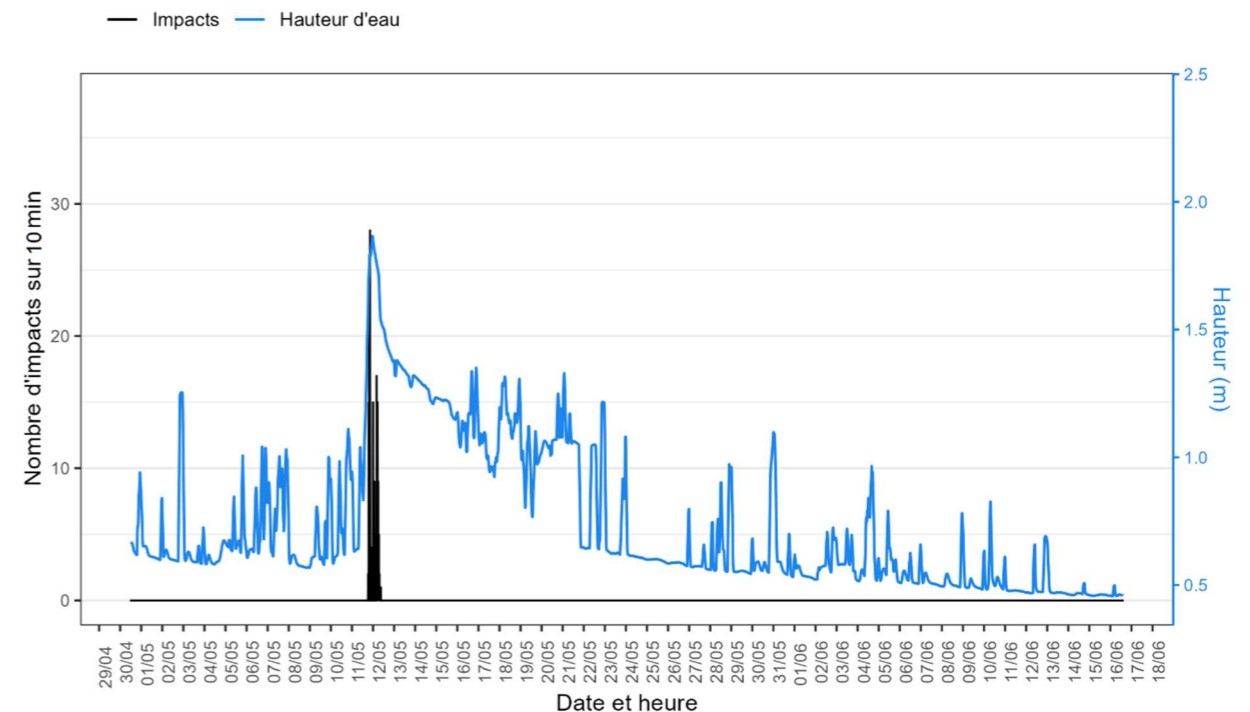


Figure 117 - Hydrogramme et chronique du nombre d'impacts durant la période de mesure sur la plaque P2.



En s'intéressant plus spécifiquement à la période de la crue du 11/05 au 12/05 on constate un débit seuil de mise en mouvement égal à celui de la plaque P1 soit $52 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. La bimodalité de l'intensité du transport solide est aussi visible, bien que la dynamique du transport solide soit globalement moins importante que sur P1, les écarts de compte étant de fait moins élevés entre les pics et le creux.

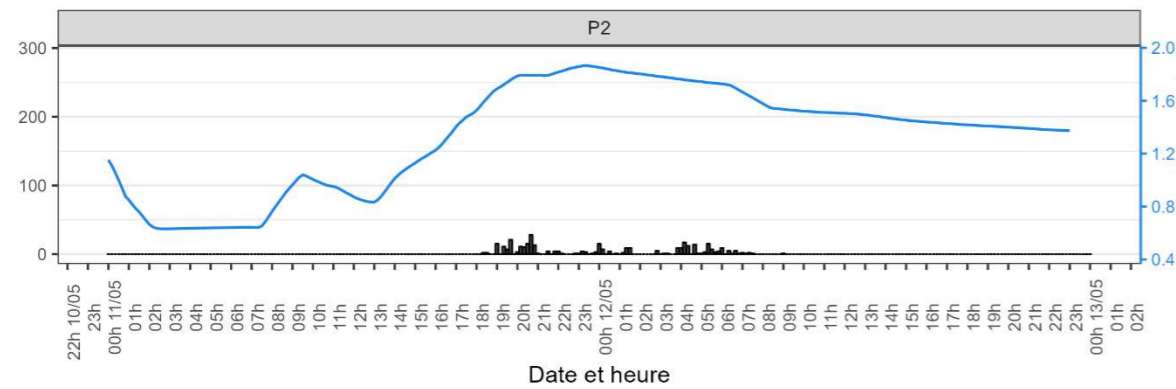


Figure 118 - Hydrogramme et chronique du nombre d'impacts durant la période de mesure sur la plaque P2 durant la crue du 11/06.

La Figure 119 et la Figure 120 permet de comparer les enregistrement du nombre d'impacts sur la période de suivi et durant la crue di 11/06/2025 sur les deux plaques P1 et P2 et montre bien une bimodalité de la cinétique des impacts sur P1 et P2 (même si sur P2 la dynamique est bien plus faible).

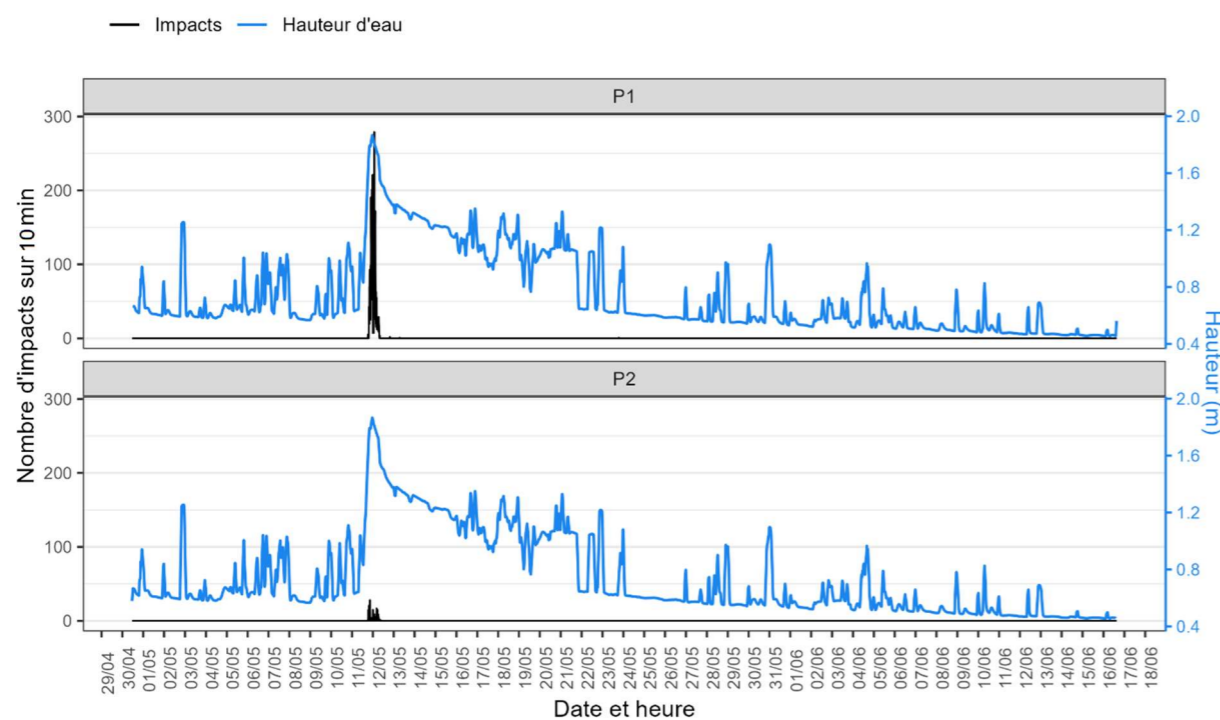


Figure 119 - Hydrogramme et chronique du nombre d'impacts durant la période de mesure sur les plaques P1 et P2.

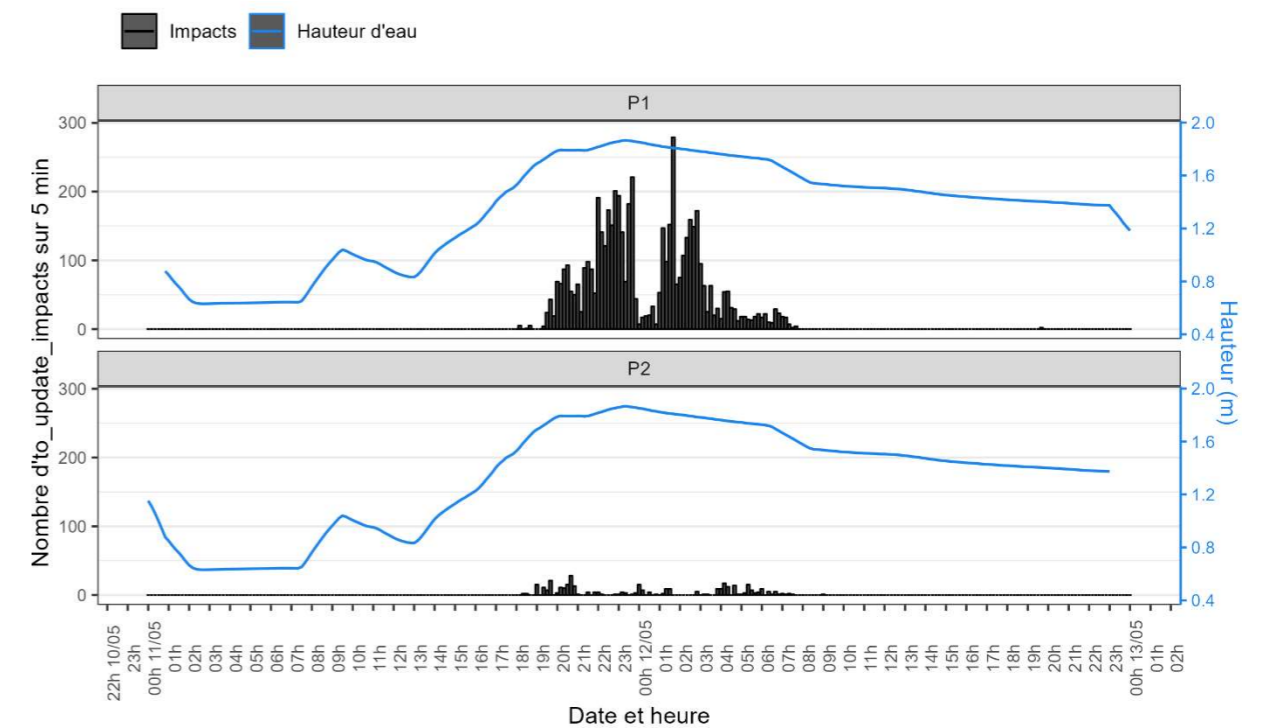


Figure 120 - Hydrogramme et chronique du nombre d'impacts durant la période de mesure sur les plaques P1 et P2 durant la crue du 11/06.

Les débits seuils de mise en mouvement observés sur les deux plaques sont identiques entre eux et correspondent à un débit égal à 68 % du débit de crue biennal fourni par hydraufrance sur la station de mesure d'Olargues (ancienne station) ($99 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ calculés à l'aide d'un ajustement à une loi de Gumbel sur les données de la période du 11/08/1955 au 31/12/1980).

Au cours de la crue, l'usine de Montahut a fonctionné, tout d'abord avec un débit de $12 \text{ m}^3/\text{s}$ puis un débit de $18 \text{ m}^3/\text{s}$. Ce turbinage a participé à augmenter le débit de la crue du Jaur qui aurait été de l'ordre de $48 \text{ m}^3/\text{s}$, soit une valeur proche du début de mise en mouvement (Figure 121).

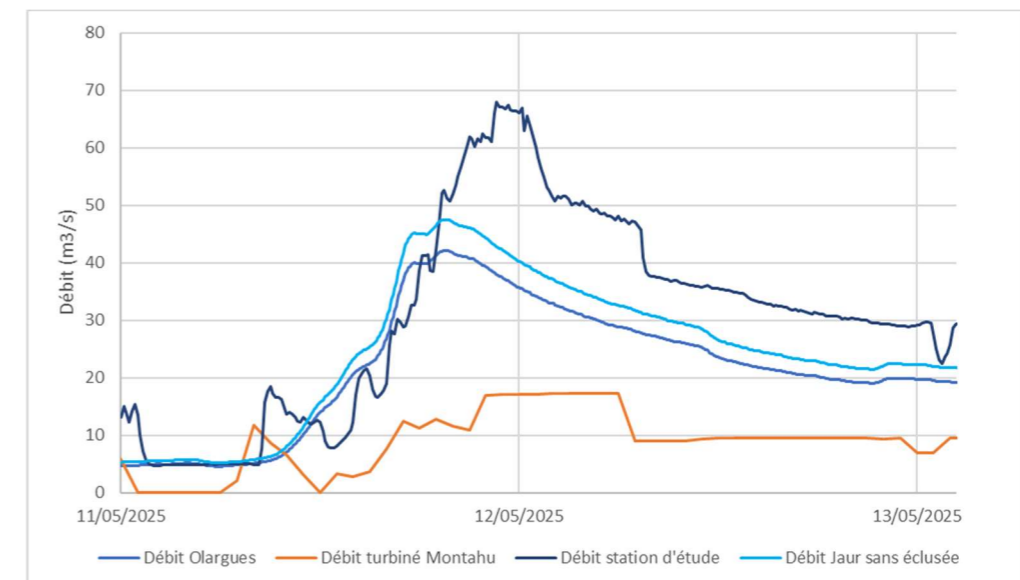


Figure 121 - Recomposition de l'hydrologie du Jaur lors de la crue du 11-12/05/2025.



Nous constatons que la seconde vague de sédiments se fait au moment où le débit est soutenu par l'écluse, on peut poser l'hypothèse que la seconde vague de mouvement des particules ne serait pas présente sans le soutien de débit réalisé par l'écluse.

La première phase de mise en mouvement importante se fait, *a priori*, lorsque l'écluse est déclenchée.

Deux rôles de l'écluse peuvent être avancés

- Déclenchement de la mise en mouvement
- Maintien du transport solide

Nous avons analysé les fréquences d'apparition des débits >40 et 45 m³/s sur la chronique du Jaur en amont de la restitution de Montahut (Tableau 11).

Tableau 11 : Fréquences des débits caractéristiques de mise en mouvement des particules sur la frayère étudiée sur le Jaur à partir de l'hydrologie d'Olargues.

>45 m ³ /s – intensité moyenne de mouvement	>50 m ³ /s – forte intensité de mouvement
4 jours/an	3 jours/an

En moyenne, par an, naturellement, la mobilité des substrats sur une zone de frayère telle que celle que nous avons étudié, il est possible d'observer une mobilité forte sur 3 jours.

Si l'on considère la gamme de débit pour laquelle, la présence d'une écluse de 18 m³/s pourrait faire passer les débits d'une valeur inférieure au seuil de mouvement (45 et 50 m³/s), on identifie les gammes de débit du Jaur [27-32 m³/s] et [32-45 m³/s]. Potentiellement, le nombre de jours avec un début de mobilité des substrats passe de 0.2/an à 3/an et celui avec une mobilité forte passe de 3 à 6 jours/an.

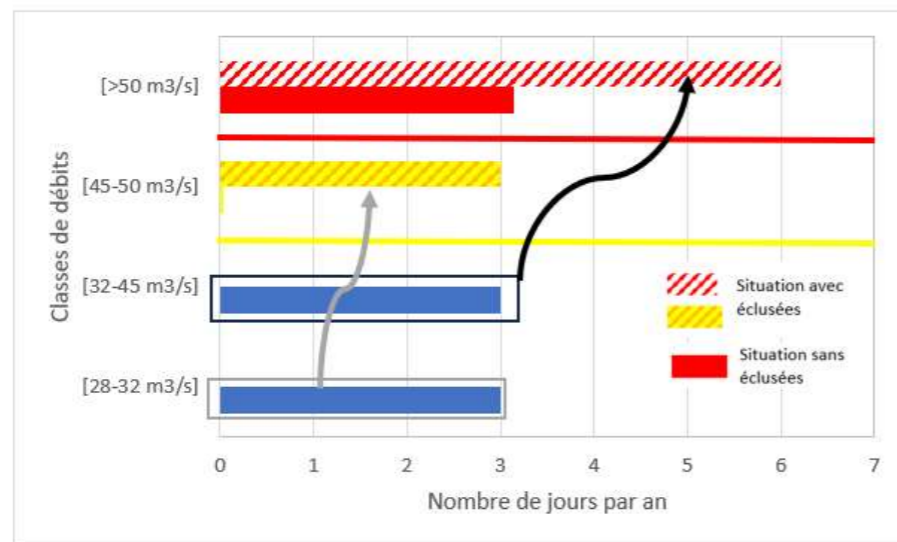


Figure 122 – Evolution du nombre de jours au-dessus des seuils de mobilité avec l'hypothèse d'une écluse pendant l'évènement hydrologique.

10.6. Résultats des particules peintes et traceurs RFID

Sur la station, 61 particules peintes ont été implantées et 38 particules ont été retrouvées.

Parmi les 38 particules, 21 se situaient aux mêmes emplacements (Figure 123). La recherche des particules s'est limitée à une distance de 10 m en aval du dernier transect.

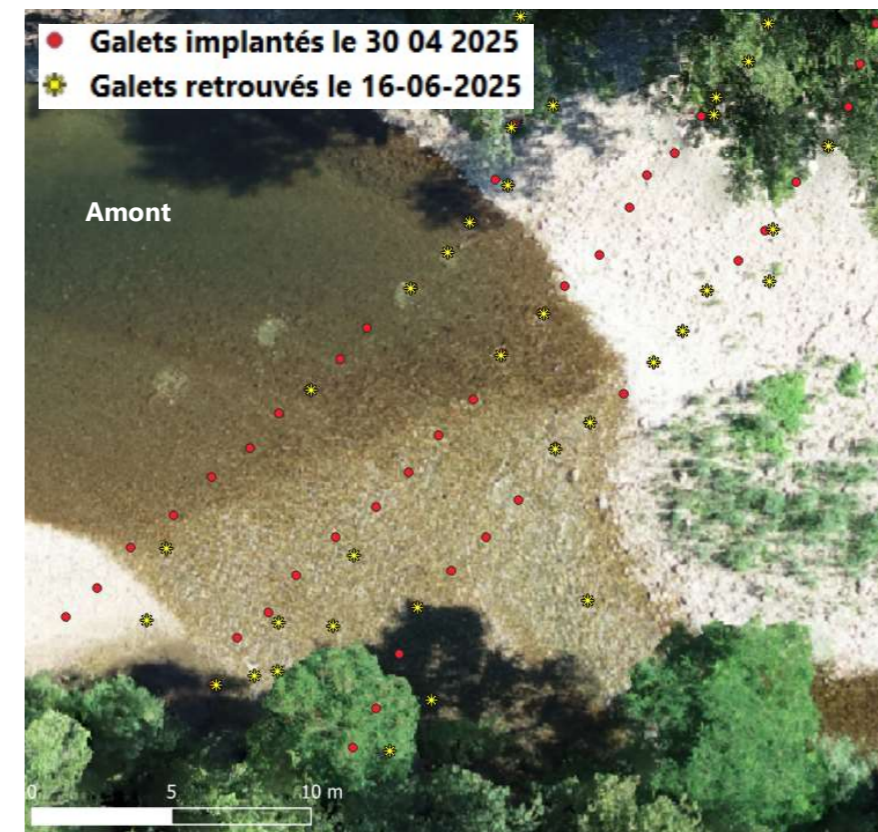


Figure 123 - Position des particules marquées au début du suivi (30/04/2025) et en fin de suivi (16/06/2025).

D'un point de vue spatial, les particules retrouvées se situent majoritairement sur le banc d'alluvion en rive gauche, hors d'eau lors de l'implantation à 5 m³/s. La majorité des particules se situant dans la partie centrale des écoulements du radier ont quitté la zone. Toutefois, on observe des mobilités même sur le banc de galets exondés en rive gauche. (Figure 124).

Il n'y a pas de relation entre la mobilité et les dimensions des particules. On constate que les particules qui ont effectué les déplacements les plus importants (>2 m) ont été implantées dans des vitesses supérieures à celles des autres particules (58 cm/s en moyenne contre 36 cm/s). Toutefois, les différences ne sont pas statistiquement significatives puisque la moitié de ces particules ont été implantées hors d'eau.

En termes de pente de ligne d'eau, la partie en eau du 1^{er} transect amont a été implanté dans une zone de pente de ligne d'eau de 0.5%, le transect 2 dans une pente de 1.5% et le transect 3 dans une pente de 2.8%. Si l'on examine le % de particules qui se sont déplacées à plus de 1 m et le % de celles qui se sont déplacées à plus de 10 m, il n'y a aucune différence significative puis sur le 1^{er} transect 69% des particules implantées en eau à 5 m³/s se sont déplacées à plus de 1 m, 58% sur le transect 2 et 64% sur le transect 1.

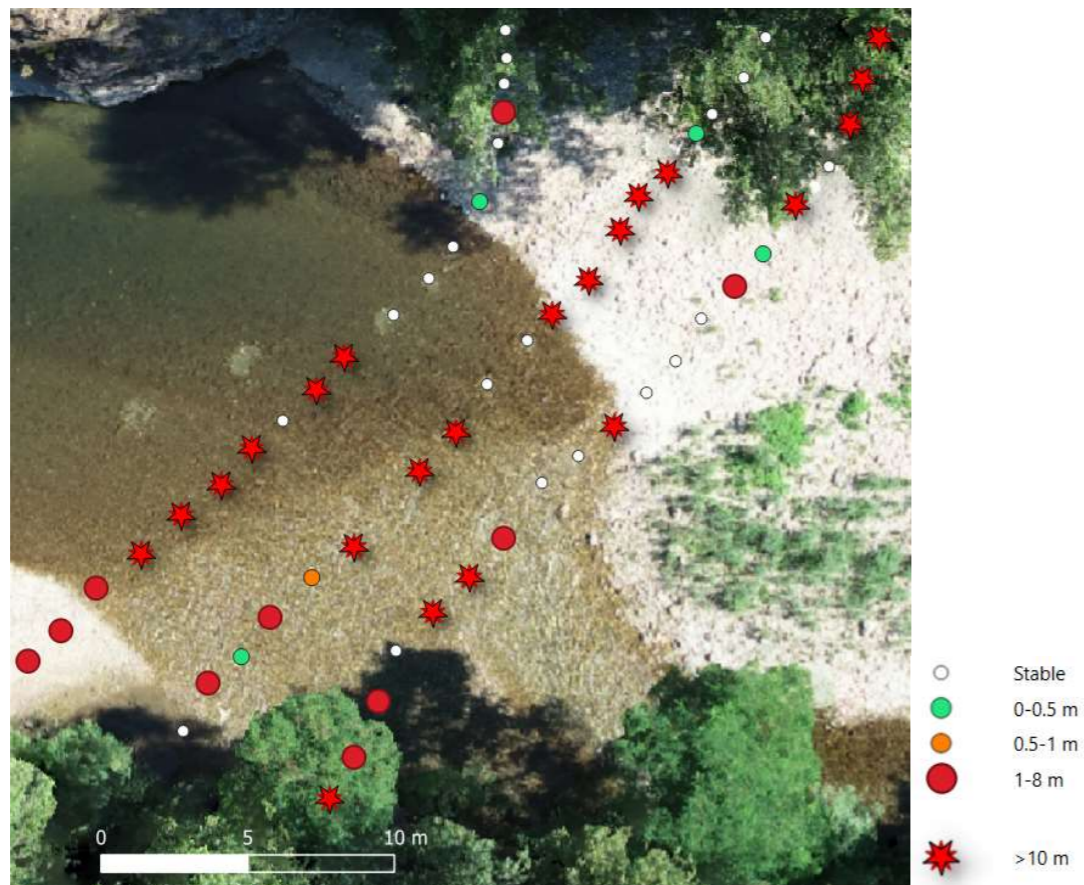


Figure 124 - Représentation des particules selon la distance de déplacement observée entre le début du suivi (30/04/2025) et la fin de suivi (16/06/2025).

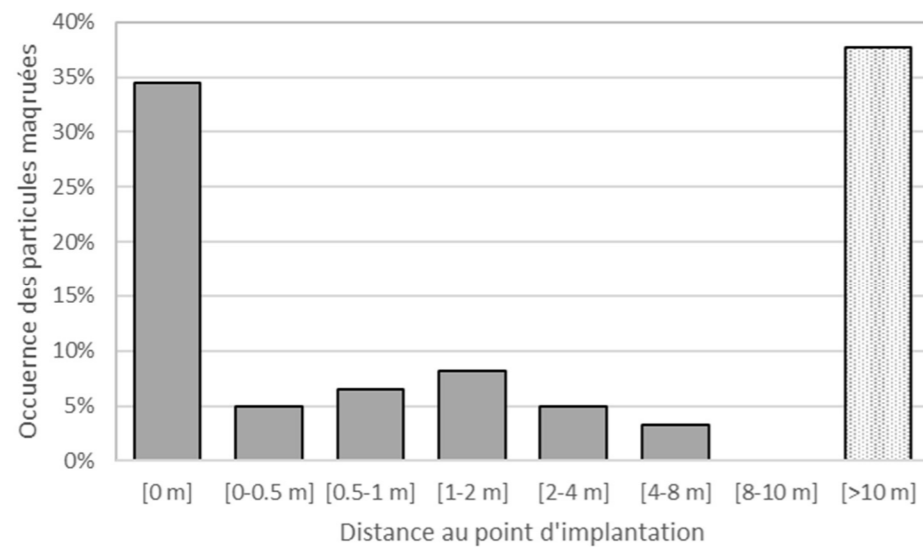


Figure 125 - Distances entre l'implantation de la particule le 30/04/2025 et le contrôle le 16/06/2025. Les particules non retrouvées ont toutes été classées à plus de 10 m.

Parmi les 38 particules retrouvées, 11 étaient enfouies sous 3 à 5 cm de substrat alluvionnaire dont 6 qui n'avait pas bougé par rapport à leur implantation.

Ces observations attestent bien du transport de matériaux sur le Jaur au cours de la période de suivi.

Pour les particules marquées, il n'est pas possible d'identifier la période exacte de déplacements. Ces observations permettent juste de caractériser une intensité de mouvements des substrats sur l'ensemble de la période de suivi.

10.7. Résultats des places peintes

Deux placettes peintes d'environ 1 m² ont été positionnées sur le banc de rive droite (placette 1) et du banc de rive gauche (placette 2).

Le Tableau 12 présente les centiles de la granulométrie du banc de rive droite (Placette 1) et gauche (Placette 2). Les résultats du suivi montrent (Figure 126) :

- Sur la placette 1, 95 % des particules dont le diamètre est égale et inférieur au D95 (45 mm) ont été remobilisées.
- Sur la placette 2 : on note une quasi absence de mobilité pour des particules de diamètre égale ou supérieur au D30 (26 mm).

Cette différence de comportement s'explique par la position des placettes, à 0.72 m au-dessus de la ligne d'eau à 5 m³/s (le 30/04/2025) et à 1.26 m pour la placette 2.

Tableau 12 - Centiles granulométriques des placettes 1 et 2 lors de leur installations.

	d10	d16	d30	d35	d50	d65	d84	d90	d95	d98	d99
Placette 1	5.4	6.4	9.9	11.4	15.2	24.9	38.1	43.2	45.5	57.8	60.4
Placette 2	15.6	19.2	26.4	28	42	62.9	84.5	104.5	135.3	153.4	153.7

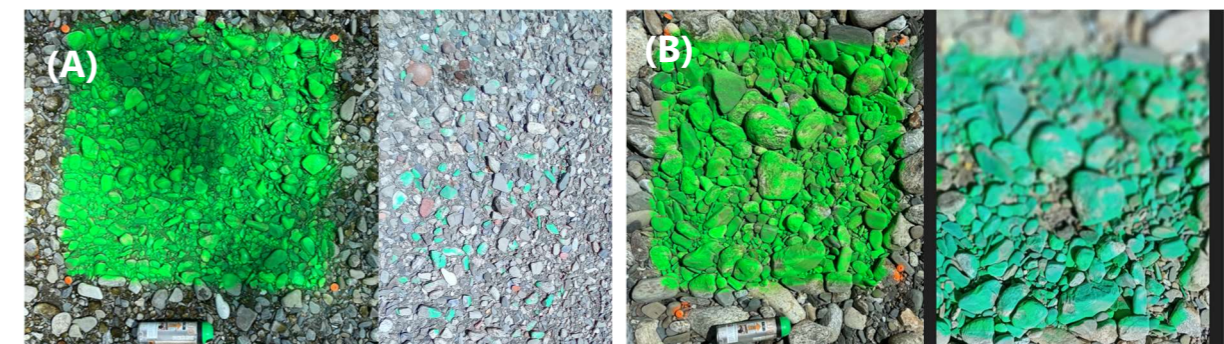


Figure 126 - (A) Placette 1 avant et après le suivi et (B) Placette 2 avant et après le suivi.

10.8. Puissance spécifique du cours d'eau

La puissance spécifique sur la zone de frayère atteint des valeurs de l'ordre de 200 W/m² à 45 m³/s, 240 W/m² à 50 m³/s et 300 W/m² au débit maximal de la crue (68 m³/s).

La comparaison de ces résultats avec ceux issus de la littérature (Figure 10) montre une cohérence, indiquant des réels d'ajustements et de mobilisation sédimentaire (seuil d'activité au-dessus des 25 à 35 W/m²).

11. Premier bilan des suivis

11.1. Difficultés de mise en œuvre

Les suivis ont pu être réalisés sur 7 sites soumis à des régimes d'écluse.

Selon les sites, différentes modalités expérimentales ont pu être mises en œuvre. En effet, les conditions d'accès aux sites n'ont pas été simples du fait des variations de débits liées au fonctionnement des aménagements mais également aux crues (cas de la Romanche par exemple). La prévisibilité des éclusées est assez délicate et a été anticipée sur la majorité des sites, ce qui n'a pas facilité la réalisation du suivi et ce malgré l'appui et la coordination avec les exploitants EDF.

De plus, sur plusieurs sites, des contraintes de travaux et d'arrêts de chute ont fortement limité les possibilités d'instrumentation et surtout de travail dans des conditions de fonctionnement représentatives (cas du Verdon).

Sur les différents sites, en raison des instabilités de débit souvent difficilement prévisibles et de la configuration morphologique de certains secteurs (zone de gorge), les conditions de sécurité n'ont pas pu être suffisantes pour mettre en œuvre l'ensemble des dispositifs de suivi.

11.2. Bilan des méthodologies utilisées par site

Tableau 13 : Bilan des méthodologies utilisées sur chaque site

Aménagements	Cours d'eau	Plaque d'impacts	Particules peintes	Placettes peintes bancs alluvions	Topographie zones de frayères
NENTILLA	Aude				
PONT EN ROYANS	Bourne				
BIOGE	Dranse	2 non récupérées			
ST_GUILLEM	Romanche	Non récupérées			
TANNERON LE TIGNET	Siagne				
VINON	Verdon				
MONTAHUT	Jaur				

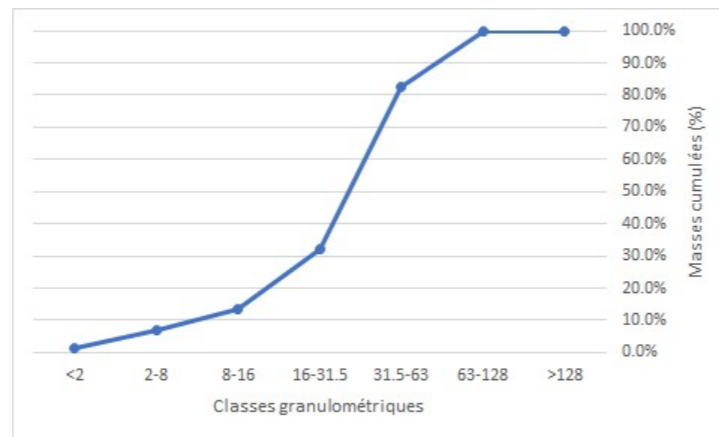
11.3. Bilan des principaux résultats

Aménagements	Cours d'eau	Débit d'écluse suivi	Débit crue	Plaque d'impacts	Particules peintes	Placettes peintes bancs alluvions
NENTILLA	<i>Aude</i>	24 m ³ /s -- 1.8 x module	Aucun	Pratiquement aucun impact durant les éclusées	2 mouvements/114 particules	Aucun mouvement
PONT EN ROYANS	<i>Bourne</i>	28 m ³ /s -- 1.35 x module Heau : 1.75 m	Heau max : 2.85 m	Pratiquement aucun impact durant les éclusées Mobilité lors des crues avec Heaudébut mise en mouvement variant de 2.1-2.25 m	Pas de mouvement lors des éclusées	
BIOGE	<i>Dranse</i>	20 m ³ /s – 1.05 x module	60 m ³ /s	Pratiquement aucun impact durant les éclusées Mobilité lors des crues avec Qdébut mise en mouvement variant de 20-25 à 50 m ³ /s	Pas de mouvement lors des éclusées	
ST_GUILLERM	<i>Romanche</i>	44 m ³ /s – 1.2 x module	300 m ³ /s	Plaques emportées par la crue		Pas de mouvements détectées
TANNERON LE TIGNET	<i>Siagne</i>	27 m ³ /s	Aucune	Quelques mouvements faibles lors de l'écluse à 27 m ³ /s		
VINON	<i>Verdon</i>	25 m ³ /s	50 m ³ /s	Pratiquement aucun impact durant les éclusées Quelques mouvements faibles lors des débits descendant 50-40 m ³ /s		
MONTAHU	<i>Jaur</i>	15 à 68 m ³ /s (crue + éclusée)	68 m ³ /s	Forte intensité d'impacts lors de la crue de 68 m ³ /s	66% de mouvements dont 57% ont totalement quitté la zone d'étude (> 10 m de distance)	1 placette avec 95% de particules entraînées

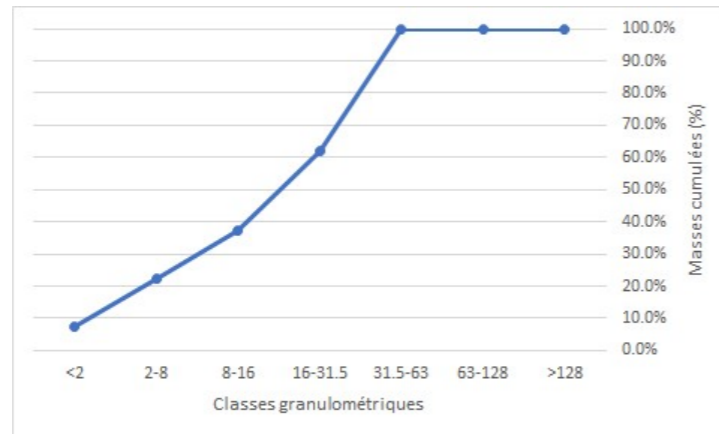
Aménagements	Cours d'eau	Débit d'écluse suivi	Débit crue	Puissance spécifique (W/m ²) au débit maximal du suivi
NENTILLA	<i>Aude</i>	24 m ³ /s -- 1.8 x module	Aucun	ST1 : 85 W/m ² ST 2 : 42 W/m ²
PONT EN ROYANS	<i>Bourne</i>	28 m ³ /s -- 1.35 x module Heau : 1.75 m	Heau max : 2.85 m	
BIOGE	<i>Dranse</i>	20 m ³ /s – 1.05 x module	60 m ³ /s	
ST_GUILLERM	<i>Romanche</i>	44 m ³ /s – 1.2 x module	300 m ³ /s	
TANNERON LE TIGNET	<i>Siagne</i>	27 m ³ /s	Aucune	
VINON	<i>Verdon</i>	25 m ³ /s	50 m ³ /s	
MONTAHU	<i>Jaur</i>	15 à 68 m ³ /s (crue + éclusée)	68 m ³ /s	300 W/m ²

12. Annexes

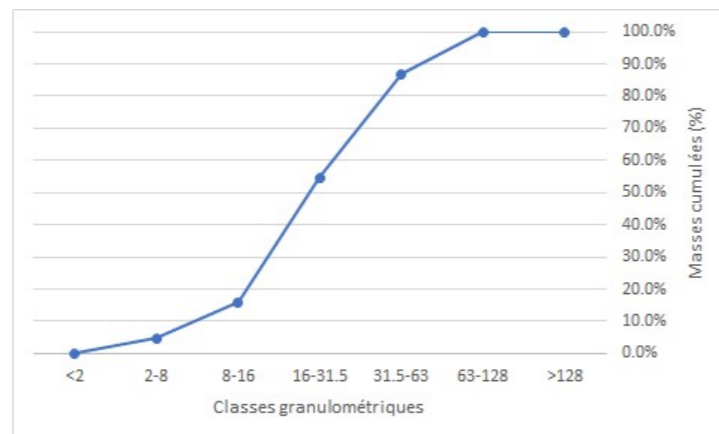
Annexe 1 – Courbes granulométriques au droit des plaques P1, P2 et P3 sur la Dranse et vitesses d'écoulement de surface



Annexe 1 : Courbe des masses cumulées des classes granulométriques au droit de la plaque P1.



Annexe 2 : Courbe des masses cumulées des classes granulométriques au droit de la plaque P2.



Annexe 3 : Tableau des vitesses d'écoulement de surface.

Site	Débit (m ³ .s ⁻¹)	Vitesse (m.s ⁻¹)
P1	4.8	0.65
P2	14.9	0.54
P4	4.2	0.30
	14.9	0.48
	19.1	0.81