

1. Contexte

Durant près d'une décennie, nous avons analysé le transport de la charge de fond dans une gamme de rivières de taille différente et situées dans des contextes géomorphologiques variés, au sein du massif ardennais.

Pour ce faire, des techniques de marquages traditionnels ont été mises en œuvre et des méthodes innovantes ont également été testées et développées.

Les marquages permettent d'identifier les débits nécessaires à la mise en mouvement des éléments constituant la charge de fond et donc de déterminer les puissances spécifiques critiques de mobilisation. Les marquages nous renseignent également sur les compétences de crues de différente importance et nous donnent les vitesses de progression par événement hydrologique.

Le type de marquage utilisé doit être adapté aux caractéristiques intrinsèques des rivières (pente, largeur, débit, espacement seuil mouille), de la charge de fond (granularité des sédiments, épaisseur de la couche active), de la disponibilité en matériaux et de l'héritage géomorphologique.

2. Marquage de placette à la peinture

Les marquages à la peinture sont les plus faciles à mettre en œuvre. L'utilisation simultanée d'une grille permet de connaître les caractéristiques granulométriques des éléments marqués. La grille d'1m² possède des mailles carrées de 10 cm de côté. Les 100 éléments situés sous chaque intersection constituent alors l'échantillon représentatif de la granularité de la placette. Afin de ne pas déstructurer le dépôt, les granulométries sont réalisées sur photo en utilisant les mailles de la grille comme échelle de conversion.

Les marquages de placette doivent être réalisés sur des seuils émergés, le plus bas possible dans le lit, étant donné que les tensions de cisaillement augmentent transversalement en fonction de la hauteur d'eau sur le seuil (fig. 1). Avant de peindre les galets, il est nécessaire de les sécher à l'aide d'un brûleur à gaz. Les galets sont peints à l'aide d'une bombe de peinture aérosol de couleur vive (jaune fluorescent, rouge, etc.) et séchés avec le brûleur.

Avec cette méthode, même les petits éléments de la charge de fond peuvent être marqués. Toutefois, le taux de récupération est relativement faible (10 à 20 %) vu la difficulté de repérer les galets peints lorsqu'ils sont enfouis. De plus, seules les faces peintes permettent de distinguer les galets marqués. Or, après transport, ces galets ne présentent pas toujours ces faces tournées vers le haut.

La recherche des éléments mobilisés ne peut se faire que lorsque le niveau de la rivière est relativement bas. Or, si deux événements hydrologiques se suivent en un laps de temps relativement court, il n'est pas possible de déterminer les conditions hydrologiques qui ont provoqué la mise en mouvement des éléments marqués et on est alors obligé de retenir l'événement le plus important.

3. Injection de galets peints

L'injection de galets peints présente trois avantages majeurs par rapport à la méthode de la placette. Premièrement, toute la surface des galets est peinte, ce qui augmente considérablement le taux de récupération. Deuxièmement, les galets peuvent être injectés dans les parties immergées des seuils, voire dans les mouilles, là où les vitesses sont les plus importantes. Enfin, avec cette technique, il est possible de réaliser un marquage quelle que soit la hauteur d'eau (fig. 2).

Toutefois, comme pour les marquages de placette, la recherche des éléments mobilisés ne peut être effectuée qu'en période de basses-eaux, ce qui nous oblige de considérer le débit maximal de la période comme étant le débit mobilisateur. En fonction des rivières et de l'importance des crues, le taux de récupération varie entre 60 et 70 %.

Pour ne pas fausser les résultats, il est préférable de prélever les galets dans la rivière sur laquelle l'injection doit être réalisée. Les galets présentent alors la même taille que la charge de fond et le même aplatissement. Ces éléments doivent être mesurés afin de connaître les caractéristiques granulométriques de l'échantillon.

Lors de l'injection, il faut veiller à étaler les galets marqués sur le fond du lit de manière à réorganiser artificiellement le matériau. Par ailleurs, nous avons fréquemment constaté que les galets se placent d'eux-mêmes en position d'équilibre même pour des faibles débits.

Des pastilles de plomb peuvent également être insérées dans les galets. Les galets sont ensuite réinjectés dans les rivières et sont récupérés à l'aide d'un détecteur de métaux. Étant donné la possibilité de localiser des galets enfouis, le taux de récupération augmente et atteint généralement de 70 à 80 %. Afin de ne pas modifier exagérément la densité des galets (densité = 2,65) après injection de plomb (densité = 11,3), nous avons uniquement prélevé des galets de taille importante (axe b > 5cm). De cette manière, la densité des galets ne dépasse pas 3.

Fig. 1: Marquage de placette à la peinture: Wamme – 12 décembre 2002



Fig. 2: Injection de galets peints – Chavanne – 17/11/2004



Fig. 3: Galet de l'Aisne foré pour être équipé d'un émetteur radio



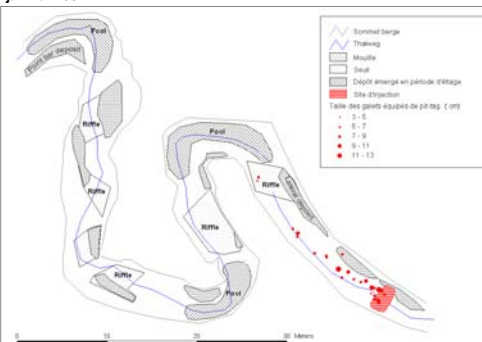
Fig. 4: Insertion d'un pit-tag



Fig. 5: Recherche des galets avec pit-tag dans la Chavanne



Fig. 6: Localisation des galets équipés de pit-tag après la crue du 18 janvier 2007



4. Marquage de galets au moyen d'émetteur radio

Cette technique de marquage consiste à introduire un émetteur radio à l'intérieur d'un galet. À l'aide d'un récepteur, il est possible de localiser sa position sur base de l'intensité du signal reçu. Nous avons utilisé des émetteurs émettant dans la gamme de fréquence comprise entre 150 et 152 MHz.

Ils ont été introduits dans des galets dans lesquels un trou avait été préalablement foré et le long desquels une rainure avait été réalisée (fig. 3). Cette rainure permet de protéger l'antenne, enroulée autour du galet, des chocs consécutifs au transport de la charge de fond. L'émetteur et l'antenne sont fixés grâce à un ciment à double composant.

L'avantage majeur de cette méthode réside dans le fait que l'opérateur peut déterminer le moment précis de mise en mouvement, de transport et d'arrêt des éléments marqués.

La taille des émetteurs est principalement influencée par la taille de la batterie. En conséquence, plus la durée de fonctionnement est longue, plus volumineux sont les émetteurs. Toutefois, afin de prolonger cette période, ceux-ci ont été programmés de façon à ne fonctionner que 12 heures par jour. Ainsi, avec un émetteur de 50 mm de longueur et de 15 mm de diamètre, la durée de fonctionnement est d'environ 12 mois. Étant donné la dimension des émetteurs, seuls les éléments de minimum 7 cm de long peuvent être marqués.

Étant donné le coût de ces émetteurs (200-300 €), le nombre de galets marqués est généralement fort restreint et ne permet pas toujours de constituer un échantillon représentatif de la charge de fond.

5. Marquage de galets au moyen de pit-tag

Des pit-tags (*Passive Integrated Transmitter Tag*) peuvent être utilisés pour marquer des galets. Il s'agit de puces électroniques intégrées dans une capsule en verre (fig. 4). Ces puces ne contiennent pas de batterie et doivent être activées par le champ magnétique émis par l'antenne du récepteur. Étant donné l'absence de batterie, leur durée de vie est estimée à plus de 20 ans.

Comme pour les injections traditionnelles, les paramètres de taille et le poids de chaque galet doivent être mesurés préalablement. Le pit-tag contient un code unique qui permet ensuite de reconnaître le galet sur le terrain parmi tous les autres. La précision de localisation dépend du diamètre de l'antenne. Avec notre antenne, nous pouvons localiser un galet dans un rayon de 25 cm (fig. 5).

Cette technique présente deux avantages considérables par rapport aux autres techniques. D'une part, les galets peuvent être identifiés à distance, sans les manipuler. Il est donc possible de les laisser en place en position naturelle et de suivre leur déplacement de crue en crue.

Des sites de piégeage peuvent être identifiés et les paramètres de mobilisation déterminés pour différents types de formes de lit (seuil, mouille, dépôt latéral, etc.). D'autre part, il n'est pas nécessaire de peindre les galets. En conséquence, ces galets attirent moins la curiosité et peuvent être injectés dans des secteurs urbanisés ou à proximité de chemins.

Une injection a été réalisée sur la Chavanne (affluent de la Liègne), dans un secteur à méandres. Ce site est particulièrement intéressant car la sinuosité du lit entraîne des formes particulièrement bien développées, ce qui augmente fortement la rugosité et crée de nombreux sites de piégeage pour la charge de fond.

Cent galets ont été injectés le 23 novembre 2006 et ont été partiellement mobilisés par la crue du 18 janvier 2007 (0,8 Q_b – 43 W/m²). Les galets ont ensuite été localisés à l'aide d'un théodolithe et une carte morphologique du lit a été dressée.

Sur cette carte, nous pouvons constater que la plupart des galets se sont déplacés dans l'axe du thalweg (fig. 6). Les galets ayant parcouru la plus grande distance (19 m) se sont arrêtés au niveau d'un seuil. Cette observation confirme que les seuils jouent le rôle de filtre dans la progression des sédiments à cause de l'augmentation moins importante des tensions de cisaillement sur les seuils que dans les mouilles en période de crue (Petit, 1987). La taille des galets arrêtés au niveau de ce site indique que la compétence effective de la rivière lors de cette crue est de l'ordre de 6 cm.

La compétence de la crue a également été estimée d'après la taille moyenne des galets mobilisés à 6,8 cm. La distance moyenne de charriage est de 6,7 m.

Enfin, il apparaît qu'un des galets mobilisés s'est retrouvé piégé sur un dépôt latéral. Des relevés réalisés par la suite ont montré que ce galet ne s'est plus déplacé depuis, malgré que plusieurs crues mobilisatrices se soient produites.