



Utilisation de transpondeurs passifs pour l'estimation du transport sédimentaire : premiers retours d'expérience

Anne-Julia Rollet, Bruce Macvicar, Hervé Piégay, André Roy

► To cite this version:

Anne-Julia Rollet, Bruce Macvicar, Hervé Piégay, André Roy. Utilisation de transpondeurs passifs pour l'estimation du transport sédimentaire : premiers retours d'expérience. La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau, EDP Sciences, 2008. <halshs-00295071>

HAL Id: halshs-00295071

<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00295071>

Submitted on 11 Aug 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'UTILISATION DE TRANSPONDEURS PASSIFS POUR L'ESTIMATION DU TRANSPORT SEDIMENTAIRE : PREMIERS RETOURS D'EXPERIENCE

A comparative study on the use of Passive Integrated Transponders to estimate sediment transport : first results

Anne Julia Rollet¹, Bruce MacVicar¹, Hervé Piégay¹ et André Roy²

¹Université de Lyon, UMR 5600 – Environnement, ville, société.

Site Ens-lsh, 15 parvis René Descartes

BP 7000 69342 Lyon Cedex 07

Tél: +33 (0)4 37 37 63 52, Fax: 04 37 37 63 47

²Canada Research Chair in Fluvial Dynamics

Département de géographie, Université de Montréal,

C.P. 6128, Succursale Centre-ville,

Montréal, Québec,

H3C 3J7, Canada

e-mail: ajrollet@yahoo.fr, macvicab@yahoo.ca, Herve.Piegay@ens-lsh.fr, andre.roy@umontreal.ca

Le transport sédimentaire est une composante fondamentale de la dynamique morphologique des cours d'eau. Des traceurs sont fréquemment utilisés pour caractériser ce transport, mais les techniques existantes sont soumises à de nombreuses limites méthodologiques et présentent notamment de faibles taux de retours. L'utilisation de transpondeurs passifs intégrés (PITs) s'est révélée être plus performante que les autres techniques mais n'avait encore jamais été testée sur de larges cours d'eau ou pour des suivis sur le long terme. Cet article présente les résultats de tests menés de façon indépendante sur deux cours d'eau de tailles différentes : le ruisseau du Moras (Canada) et la basse vallée de l'Ain (France). Sur le plus petit (6 m de large), nous avons obtenu des taux de retour compris entre 87 et 90% durant quatre suivis évènementiels successifs. Ces taux sont restés invariants dans le temps. Une analyse des sources d'erreur indique que la majorité des traceurs qui n'ont pas été retrouvés ont été enfouis trop profondément (> 25 cm) pour pouvoir être détectés. Sur l'Ain (environ 100 m de large), le taux de retour des traceurs a été de 36% après un suivi annuel. Ce taux, s'il est inférieur à celui observé sur de plus petits cours d'eau, reste supérieur à ceux obtenus par les autres techniques sur ce même type de cours d'eau ; il est par ailleurs suffisant pour mettre en lumière la distance de mobilisation de cette charge.

Sediment transport is of fundamental importance to river dynamics. Tracers are frequently used to characterize this process, but existing techniques are subject to a number of limitations that result in low recovery percentages. The use of Passive Integrated Transponders (PITs) has been shown to be more effective than other techniques, but this methodology has not yet been tested in larger rivers and over longer time periods. This article presents results from two independent tests in different sized rivers. In the smaller watercourse (6 m wide) we obtained recovery percentages between 87 to 90% during four surveys of their positions. There was no decrease in recovery percentage with time. An analysis of the sources of error indicates that the majority of missing particles were buried deeper than the approximately 25 cm detection range in the bed. In the larger watercourse (100 m wide), the recovery percentage was 36% after one year. This percentage, while less than that obtained in the smaller watercourse, is still much higher than other techniques for this size of watercourse. Sources of error likely include particle burial in large banks and an inability to measure in deep pools. The use of PIT tags provides detailed spatial information on particle movements and has superior recovery percentages than other sediment tracking methods in gravel-bed rivers.

I INTRODUCTION

La détermination des distances de transport des galets est un enjeu majeur pour la quantification, le suivi et la gestion de la charge de fond des cours d'eau. Les premiers traçages de particules sont anciens et leur utilisation n'a cessé de croître depuis les années 1960. De nombreuses techniques ont ainsi été développées (marquage à la peinture, introduction d'aimants, de radio-émetteurs...), présentant, chacune, certains avantages et inconvénients. Cependant, aucune ne fait l'unanimité car elles sont soit coûteuses, soit peu efficaces dans des contextes d'utilisation donnés (les taux de retour sont souvent inférieurs à 50 %) [1, 2]. Elles nécessitent bien souvent l'utilisation d'un très grand nombre de traceurs. Ceci nous a conduit à nous

intéresser à une nouvelle technique de traçage : les PIT tags (Passive Integrated Transponder), transpondeurs passifs intégrés. Peu onéreuse (2,35€ par traceur), et déjà fréquemment utilisée dans le cadre de recherches en biologie, pour l'observation de populations animales, cette technique est appliquée depuis peu au traçage de sédiments [3, 4].

Dans le cas du cours d'eau étudié par Lamarre et al. [3], les PITs étaient implantés dans des particules de taille comprise entre 40 et 250 mm en diamètre. Le site d'étude était une rivière de 7 m de large avec une pente de 2.3% et une taille médiane du sédiment (D_{50}) de 70 mm. Les taux de retour pour cette expérience ont été respectivement de 90% et 87%, après deux crues compétentes sur une période de suivi de huit mois. Allan et al. [4] ont essayé d'utiliser la même technique sur quatre sites localisés sur une plage dont la pente moyenne était de 4 % et les D_{50} compris entre 45 et 147 mm. Les taux de retour étaient de 40 à 90% après huit mois de suivi et de 16 à 66% après 18 mois. Les sources d'erreurs identifiées dans ces articles sont : 1) le bris des PITs pendant le transport des particules au fond du lit, 2) la dispersion des PITs en dehors de la zone d'étude, 3) un enfouissement trop profond dans la masse sédimentaire, et 4) l'erreur humaine lors du recensement.

L'objectif de ce présent article est de présenter deux nouvelles contributions en matière d'application des PITs. Il s'agit ainsi de : 1) évaluer les taux de retour au sein d'un petit cours d'eau sur une période plus longue que celle observée par les précédents auteurs. 2) tester la technique dans une rivière plus large que celles déjà étudiées. Nous discuterons ainsi de l'effet de la géomorphologie et de la taille des rivières sur les sources d'erreurs lors de l'utilisation de cette technique de traçage.

II MATÉRIEL ET MÉTHODE

Les PIT tags sont des transpondeurs RFID (Radio Frequency IDentification) développés par TIRIS Technology et distribués par Texas Instrument. Ces transpondeurs sont insérés dans une capsule de verre hermétiquement scellée. Il existe différentes tailles et différentes fréquences. Les transpondeurs retenus RI-TRP-WRHP ont une longueur de 23,1 mm +/- 0,5 mm et un diamètre de 3,85 +/- 0,5 mm (fig.1A). Cette version autorise la lecture et l'écriture, ce qui permet à l'utilisateur d'attribuer un identifiant à chacune des capsules utilisées.

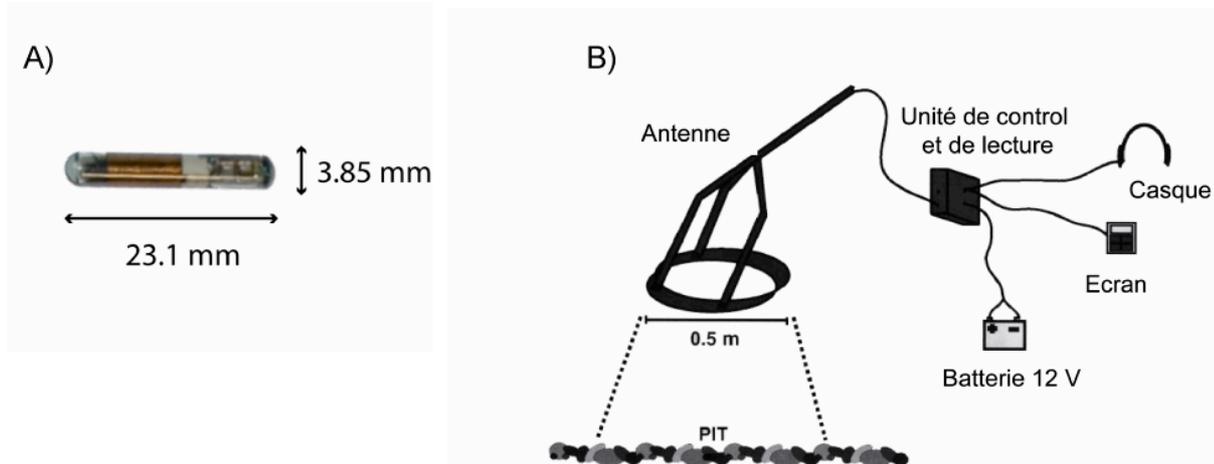


Figure 1- Présentation des PIT tags (A) et de leur système de détection (B) (d'après Lamarre et al.[3])

Un signal électromagnétique est envoyé par l'unité de contrôle (fig.1B) auquel réagit le transpondeur passif qui transmet alors le numéro d'identification à l'unité de lecture. L'antenne utilisée est circulaire, d'un diamètre de 50 cm. Chaque fois qu'un transpondeur est détecté par l'antenne le circuit d'alarme envoie un signal sonore et l'identifiant du transpondeur est affiché sur un pocket PC depuis l'unité de lecture.

Cette technique présente de nombreux avantages, tels que la possibilité de détecter des particules enfouies dans la masse sédimentaire, ou sous l'eau, un faible coût, une grande résistance (aux chocs, humidité...) et une grande longévité. Les émetteurs étant passifs, ils ne comportent pas de batterie propre. L'obtention directe de l'identifiant du traceur sur l'écran est également un atout. Cela évite de creuser dans le fond du lit pour retrouver les particules détectées et noter leurs caractéristiques. Elle reste cependant à améliorer car

trois contraintes majeures subsistent. Il est tout d'abord délicat de reconnaître et d'identifier différentes particules lorsqu'elles sont trop proches les unes des autres. Ensuite, les particules équipées doivent être suffisamment épaisses pour pouvoir contenir le PIT et pour ne pas être trop fragilisées lors de leur forage. Il n'est donc pas possible d'utiliser de petites particules (axe $b < 32$ mm), ce qui limite les contextes dans lesquels cette technique peut être utilisée. Enfin, il n'est pas possible de détecter les particules enfouies à plus 25 cm, étant donné la puissance d'émission de l'antenne.

III APPLICATION

III.1 Suivi inter-annuel d'un petit cours d'eau, le ruisseau du Moras au Québec

III.1.1 Protocole

La technique a été testée sur un tronçon de 300 m de long du ruisseau Moras au Québec, ruisseau déjà étudié par Lamarre et al. [3]. Nous présentons ici les résultats issus d'un deuxième site localisé 500 m en amont. Ce ruisseau, dont le bassin versant est de 14 km², est peu large (6 mètres en moyenne) et peu profond (0.7 mètres lors d'un débit de plein bord). Le tronçon étudié présente une pente de 1.2%. Au mois de septembre 2003, 214 particules (25 à 280 mm) ont été équipées de PITs. Le D₅₀ des particules équipées de PITs est de 80 mm, ce qui est plus grossier que la taille médiane des sédiments du ruisseau (60 mm). Cependant, les particules plus grossières que le D₈₄ (190 mm) sont sous représentées par ces mêmes traceurs, compte tenu de la difficulté de ramener un nombre suffisant de ces particules au laboratoire pour les équiper. Les traceurs ont été redéposés aléatoirement dans le lit du cours d'eau, sur une section de 100 m de longueur. Entre septembre 2003 et décembre 2005, nous avons recherché les traceurs chaque printemps et chaque automne, soit 4 quatre recensements au total. Les positions des traceurs localisés ont été enregistrées au moyen d'une station totale.

III.1.2 Résultats

Les taux de retours sont présentés dans le Tableau 1; ils sont compris entre 87 et 90%. Le suivi montre que, sur une période de plus de deux ans, le taux de retour ne diminue pas avec le temps. Ce résultat est notamment du fait que les particules transportées en dehors du site d'étude aient été retrouvées sur le site aval (étudié par Lamarre et al. [3]). Les positions des traceurs aux mois de septembre 2003 et de décembre 2005 sont indiquées sur la Figure 2. Les traceurs trouvés en aval du site d'étude n'ont pas pu être localisés précisément. La distance maximale de transport observée est supérieure à 500 m.

Sur l'ensemble du linéaire, des zones de forte concentration de traceurs après mobilisation sont visibles au niveau des points 1, 3 et 5 qui correspondent à des seuils en amont de mouilles assez peu profondes (0,8 m). Ces mouilles correspondent à des zones où nous observons peu de dépôts de particules. Du point 4 au point 8, les particules ont été déposées selon une ligne qui alterne entre la rive droite et la rive gauche et qui relie les bancs latéraux. Ainsi, les particules se déposent préférentiellement en amont ou sur les bancs. Au-delà du point 8, la faible densité des particules rend délicate l'interprétation de leur distribution. Les bancs ne sont pas fortement développés et dans ce contexte, les changements morphologiques observés entre deux crues sont peu importants, le plus souvent inférieurs à 20 cm. Cependant, certaines zones d'érosion ou de dépôt peuvent localement enregistrer des changements morphologiques dont l'amplitude peut dépasser 50 cm du fait, par exemple, de la présence de bois mort [3], ce qui rend la détection des traceurs délicate.

Date (mm/aa)	Taux de retour (%)
09/03	-
04/04	87
10/04	89
05/05	90
12/05	88

Tableau 1 – Les taux de retour dans le ruisseau Moras entre septembre 2003 et décembre 2005

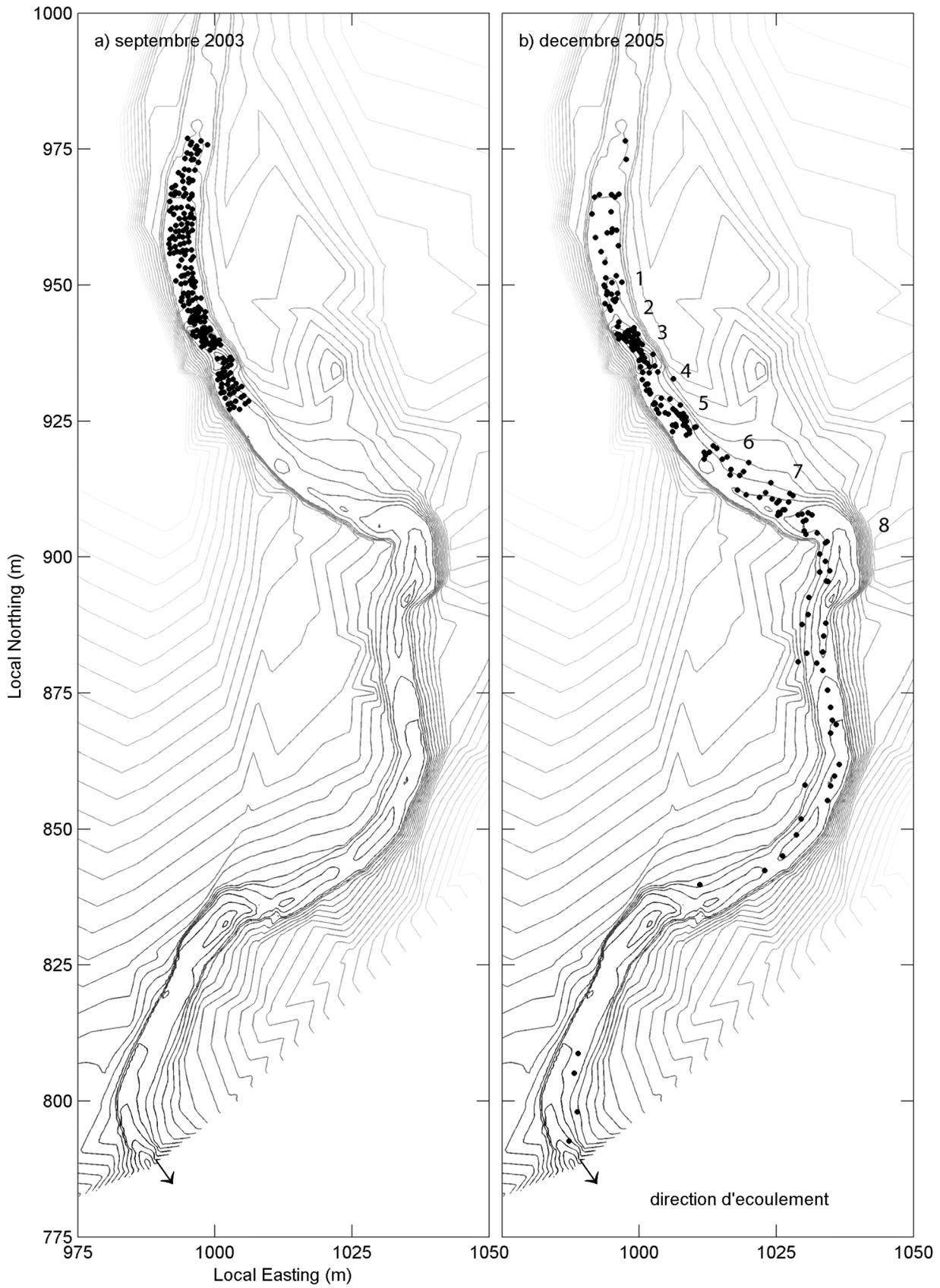


Figure 2 - Positions des 214 particules dans le ruisseau Moras au Québec a) en mai 2003 et b) en décembre 2005.

Figur

III.2 Équipement d'un grand cours d'eau sinueux, l'Ain dans sa basse vallée

III.2.1 Protocole

L'utilisation des PITs pour le traçage de particules a également été testée sur l'Ain dans sa basse vallée afin d'évaluer son efficacité sur des cours d'eau plus importants (bassin versant d'environ 3670 km²) présentant un style à méandres mobiles caractérisé par un transport par charriage. En août 2005, 400 traceurs ont été répartis sur deux sections (Fig. 3A) d'un banc de convexité développé (long d'environ 500 mètres et large de 65 mètres à l'étiage) localisé sur un secteur latéralement très mobile. Ils ont été relocalisés en août 2006 et le suivi de 2007 n'a pas pu être réalisé. La bande active de l'Ain au droit de ce banc est large d'environ 100 m et le chenal présente une profondeur pouvant atteindre 3 mètres dans la concavité.

La taille des particules équipées de PIT tags est comprise entre 42 et 145 mm d'axe b. Du fait de la contrainte induite par la taille des transpondeurs, les traceurs ne sont représentatifs que de la fraction la plus grossière de la granulométrie du site (soit le D75), le D50 des traceurs est ainsi plus grossier que celui des sédiments en place (79 mm contre 46 mm). Les distances enregistrées seront ainsi à considérer comme des distances minimales et non des moyennes.

Les traceurs ont été répartis sur les deux sections de banc en essayant de reproduire l'imbrication naturelle des sédiments constituant le banc.

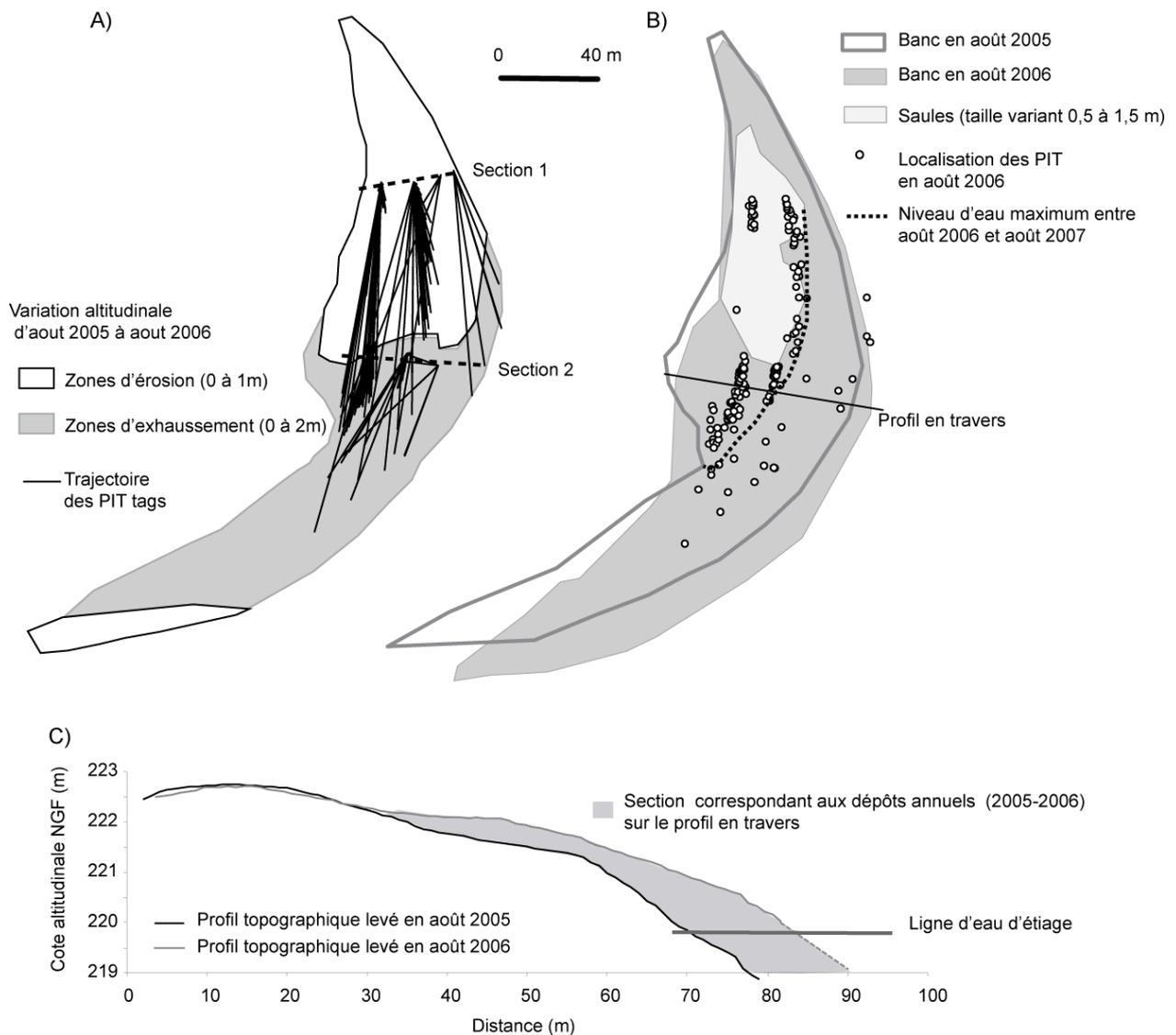


Figure 3 – Suivi des particules sur l'Ain, A) trajectoires des particules équipées de PITs B) Localisation des particules année n + 1 et C) épaisseur de la section remaniée mesurée à partir de suivis topographiques

III.2.2 Résultats

La relocalisation des traceurs a été effectuée pendant la période estivale car le chenal n'est praticable à pied que pendant les étiages estivaux. Lors du suivi une année après l'installation des traceurs, le taux de retour a été de 36%. Les distances de transport observées sont de l'ordre de 50 mètres en moyenne. Les distances maximales sont supérieures à une centaine de mètres. Malgré des prospections sur des secteurs relativement étendus (1500 m), seuls les traceurs peu mobilisés, ou déplacés mais restés sur le banc d'introduction, ont été retrouvés. De plus, seules les particules déposées dans les clusters les moins exposés ont pu être retrouvées. Dans la mesure où aucune traînée de dispersion n'a été relevée dans les zones de prospection, il est peu probable que les traceurs non retrouvés aient dépassé les zones de recherche. Certaines ont été probablement piégées dans les mouilles, trop profondes pour être prospectées (cas des particules de la placette en bord de chenal sur la section 1, Fig. 3A). De plus, le transport sur le banc se manifestant par charriage avec progradation aval du banc de convexité, la couche sédimentaire peut être relativement épaisse sur le front de propagation (fig.3 C) et beaucoup de particules équipées ont pu être enfouies profondément durant leur phase de transport. Ceci a limité ensuite leur détection à l'aide de l'antenne.

IV DISCUSSION

Plus de deux ans après leur insertion dans le lit et plusieurs événements compétents, le taux de retour des traceurs PIT installés dans le plus petit des cours d'eau (Moras) est voisin de 90% et les distances parcourues par ces traceurs sont de l'ordre de 500 m. Ce test confirme les résultats acquis sur le site, plus en aval, par Lamarre et al. [3] et valide la fiabilité de la méthode employée dans ce type de contexte, où les changements morphologiques dépassent rarement la limite de détection de l'antenne. Ce taux de retour est supérieur à ceux d'autres technologies [1]. Sur un cours de plus grande taille (Ain), le taux de retour après une année hydrologique est certes moins important que sur un petit cours d'eau. Cependant, un taux de retour de 36% est comparable avec celui obtenu avec des PITs dans un environnement littoral [4] et reste largement supérieur à ceux obtenus au moyen des techniques testées précédemment (environ 0,4% avec la technique des particules peintes) [5]. Ces résultats sont encourageants et confirment le potentiel intéressant de cette technique pour le traçage dans les plus grands cours d'eau, si tant est qu'ils soient suivis par un opérateur à pied. Par ailleurs, il est important de souligner que les particules ne sont pas complètement perdues. Elles peuvent ainsi réapparaître lors de suivis ultérieurs et être ainsi relocalisées comme cela a été le cas pendant notre période d'observation. Texas Instruments assure que les PITs ont une durée de vie de 50 ans, même si ceci n'a pas encore été évalué dans des conditions naturelles.

Dans le ruisseau Moras, nous avons retrouvé un PIT mal installé qui a été brisé pendant le transport. Nous avons également recensé les PITs qui n'ont jamais été retrouvés après leurs installations, en faisant l'hypothèse que leur perte est due à leur bris (erreur 1 décrite dans l'introduction). Seuls quatre traceurs sont dans cette situation, ce qui indiquerait que ce problème n'est responsable, au maximum, que de 2% des pertes constatées. En considérant que la présence d'un second site d'étude en aval minimise l'erreur de type 2 (la dispersion des PITs en dehors de la zone d'étude) et que la petite taille du ruisseau minimise l'erreur de type 4 (recensement non exhaustif de la zone), nous considérons que l'erreur de 8 à 11% restante peut être essentiellement attribuée à l'erreur de type 3 (recouvrement trop profond des particules dans les sédiments).

Dans le cas de l'Ain, il est probable que la taille de la rivière et des formes du lit augmente l'importance des sources d'erreurs de type 2, 3, et 4. Les distances de transport observées sont de l'ordre de 50 mètres en moyenne. Les distances maximales sont supérieures à une centaine de mètres. Ces distances semblent faibles comparées à celles trouvées dans la littérature. Ainsi, lors de tests en canal expérimental, Pyrcce et Ashmore [6] ont observé qu'après des débits morphogènes, 55 à 75% des traceurs introduits ont été déposés sur le premier banc en aval et seulement 15% au-delà. Cette observation aurait dû nous conduire sur l'Ain à des distances de l'ordre de 450 mètres. Nos valeurs sont cependant cohérentes avec les résultats d'autres travaux comme ceux conduits dans le canal de Miribel sur le Rhône [7] où la distance observée a été d'un peu plus de 100 m en une crue ($580\text{m}^3.\text{s}^{-1}$). Dans ce cas, les particules sont également restées dans la même unité morphologique. La superposition des MNT levés en août 2005 et août 2006 et la représentation de la trajectoire des traceurs nous permettent de constater que toutes les particules ont effectivement quitté une zone d'érosion pour se déposer sur la première zone de dépôt rencontrée (Fig. 3A). Ceci correspond donc bien aux observations effectuées par de nombreux auteurs [8-11] qui ont démontré la relation entre la

distance moyenne de transport et la distance moyenne entre zones d'érosion et zones de dépôt. Nous observons également que les particules déposées en amont du banc ont parcouru des distances plus importantes car elles ont été soumises à des vitesses plus importantes. Elles ont néanmoins été retrouvées au même niveau que les particules introduites plus en aval. Ceci met en lumière la dynamique morphologique d'un banc de convexité et souligne par ailleurs les limites de cette technique dans le cas de cours d'eau mobile où les formes d'accumulation se stabilisent pour des décennies, introduisant une erreur de type 5 ! Du fait de la migration progressive des méandres, certains traceurs se sont déplacés dans la partie interne du banc et sont à présent quasiment sortis du système. Ils reposent en effet sur des surfaces peu dynamiques, en cours de colonisation végétale et présentent peu de probabilité d'être à nouveau mobilisés (Fig. 3B).

Cette dernière observation est intéressante dans la mesure où elle permet de déterminer quelles sont les masses sédimentaires qui se fossilisent en devenant lit majeur et celles qui sont réinjectées dans le transport. Cette approche devrait permettre de renouveler la réflexion concernant le transport solide et la recharge latérale par érosion en comprenant mieux les échanges sédimentaires qui existent entre le lit majeur et le lit mineur. Dans ce contexte, ce n'est pas forcément le taux de retour qui est le critère le plus important, étant entendu qu'il est essentiel d'en injecter un grand nombre pour être assuré que se dessinent les trajectoires de migration, mais bien le sens des déplacements et le lien qui existe entre celui-ci et les changements morphologiques du lit.

V CONCLUSIONS

Les résultats des premiers tests méthodologiques concernant l'utilisation des PITs sont concluants et montrent que cette technique de traçage est intéressante dans un grand nombre de cours d'eau de taille et de fonctionnement différenciés. Si le taux de retour décroît en fonction de la taille du cours d'eau étudié, il reste supérieur à ceux des autres techniques. De plus, l'utilisation des PIT tags permet de connaître les trajectoires individuelles des particules. Cette propriété offre l'opportunité de mieux comprendre les logiques de dispersion spatiale des particules sans pour autant perturber le lit des cours d'eau. La préservation des structures morphologiques lors de la collecte de l'information permet ainsi d'étudier les relations entre le transport sédimentaire et les formes fluviales.

VI RÉFÉRENCES

- [1] Sear D.A., Lee M.W.E., Oakey R.J., Carling P.A. & Collins M.B. (2000). - Coarse sediment tracing technology in littoral and fluvial environments: a review. In *Tracers in geomorphology I*, Foster, I.D.L. (ed), Wiley: Chichester: 21-55.
- [2] Hassan M.A. & Ergenzinger P. (2003). - Use of tracers in fluvial geomorphology. *Tools in fluvial geomorphology*, Kondolf G.M. & Piégay H. (eds), Wiley: 397-424.
- [3] Lamarre H., MacVicar B. & Roy A. (2005). - Using Passive Integrated Transpondeur (PIT) tags to investigate sediment transport in gravel-bed rivers. *Journal of Sedimentary Research*, **75**, 736-741.
- [4] Allan, J.C., Hart, R. & Tranquili, J.V. (2006). - The use of Passive Integrated Transponder (PIT) tags to trace cobble transport in a mixed sand-and-gravel beach on the high-energy Oregon coast, USA. *Marine Geology*, **232**, 63-86.
- [5] Rollet A.J (2007). - *Etude et gestion de la dynamique sédimentaire d'une tronçon fluvial à l'aval d'un barrage : le cas de la basse Vallée de l'Ain*. Thèse de Doctorat, Université Lyon 3.
- [6] Pyrce R.S. & Ashmore P.E. (2003). - Particle path length distributions in meandering gravel-bed streams: results from physical models. *Earth Surface Processes and Landform*, **28**, 951-966.
- [7] Bravard J.P. & Petit F. (1997). - *Les cours d'eau, dynamique du système fluvial*. Armand Colin, Paris, 222 p.
- [8] Ferguson, R. I. & Ashworth, P. J. (1992). - Spatial patterns of bedload transport and channel change in braided and near-braided rivers. In: Billi, P., Hey, R. D., Thorne, C. R. & Tacconi, P. (eds) *Dynamics of gravel-bed rivers*, Wiley, 477-496

- [9] Goff J.R. & Ashmore P. (1994). - Gravel transport and morphological change in braided Sunwapta River, Alberta, Canada. *Earth Surface Processes and Landforms*, **19**, 195-212.
- [10] McLean, D.G. & Church, M. (1999). - Sediment transport along lower Fraser River 2. Estimates based on the long-term gravel budget. *Water Resources Research*, **35**, 2549–2559
- [11] Eaton B.C. & Lapointe M.F., (2001). - Effects of large floods on sediment transport and reach morphology in the cobble-bed Sainte Marguerite River. *Geomorphology*, **40**, 291-309.

VII REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée, en partie dans le cadre d'une thèse financée par l'université Lyon III, en partie dans le cadre d'une thèse financée par le CRNSG et le FCAR à l'Université de Montréal, et d'une étude postdoctorale financée par le FQRNT au CNRS dans l'Unité Mixte de Recherche 5600 – Environnement, Ville et Société.