

Suivi du profil en long

Définition générale du profil en long

Le profil en long d'un cours d'eau est une représentation graphique qui met en rapport la cote du fond du lit et/ou de la ligne d'eau et/ou du niveau des berges (en ordonnées), et la distance (en abscisses). Il peut être réalisé à différentes échelles du cours d'eau (linéaire complet, tronçons, stations) et permet d'observer les variations longitudinales de la pente du fond du lit et/ou de la ligne d'eau et/ou du niveau des berges.

C'est un outil hydromorphologique essentiel qui traduit, par la comparaison diachronique de plusieurs relevés, les processus physiques verticaux d'ajustement (érosion/dépôt), sous l'effet notamment des variations de débits liquide et solide (variables de contrôle primaires). Plus localement, la pente et la géométrie de la vallée, la granulométrie du lit et la végétation rivulaire (variables de contrôle secondaires) influencent aussi la forme du profil longitudinal. Le profil en long s'ajuste également en fonction du « niveau de base » (ou « niveau de contact aval ») qui peut être le niveau de la mer pour les fleuves ou la cote altitudinale du cours d'eau récepteur pour leurs affluents [46]. Lorsque le niveau de base évolue, pour des raisons naturelles (variation du niveau marin ou de la cote de l'exutoire) ou anthropiques (par exemple, mise en place de seuils ou curage), le profil en long s'ajuste plus ou moins rapidement soit par incision (érosion régressive) soit par exhaussement (remblaiement du lit).

À l'échelle du cours d'eau, une forme de profil en long dite d'équilibre, généralement concave [46] s'établit lorsque la capacité de transport est en équilibre avec la fourniture sédimentaire (équilibre entre l'érosion et le dépôt). Cependant, cette forme n'est pas « lisse », car localement des facteurs comme la géologie et la topographie de la vallée ou des structures anthropiques peuvent créer des irrégularités.

Objectifs du suivi

Le suivi du profil en long dans le cadre du suivi scientifique minimal cherche avant tout à rendre compte de l'évolution des variations verticales du fond du lit, puisque c'est là qu'agit et se matérialise une partie des processus d'érosion et de dépôt, témoignant du fonctionnement hydro-sédimentaire.

L'objectif du suivi du profil en long est d'analyser l'évolution altimétrique du fond du lit sous l'effet des nouveaux processus d'érosion et de dépôt occurrents dans le tronçon hydromorphologique comprenant le secteur restauré. Le suivi doit également permettre d'identifier et de quantifier, sur l'ensemble de la zone d'étude, les ruptures de pente, pour analyser leur évolution. La caractérisation du profil en long, dans le cadre du SSM, informe sur l'évolution longitudinale et verticale de la séquence radier/mouille.

Définition de l'emprise du suivi

Emprise des travaux

Pour les restaurations linéaires (reméandrage, remise dans le talweg, contournement de plans d'eau, etc.), l'emprise des travaux se définit assez simplement par le linéaire concerné par les travaux. Dans le cas de ce type d'opération, il correspond à la dénomination «linéaire restauré» (voir *Échelles du suivi et éléments à suivre*). Pour les opérations d'effacement d'obstacle, le linéaire concerné par les travaux est borné par le remous solide à l'amont (si celui-ci est difficile à caractériser, prendre en compte l'extrémité amont de la retenue formée par l'ouvrage) et par l'ouvrage lui-même à l'aval.

Attention, bien souvent, le point de prélèvement Carhyce (voir la Fiche 1 [Hydromorphologie (échelle station)]) de la station Restaurée ne couvrira pas l'intégralité du linéaire concerné par les travaux. Il faut donc bien distinguer d'une part l'emprise des travaux et d'autre part l'emprise du point de prélèvement Carhyce de la station Restaurée.

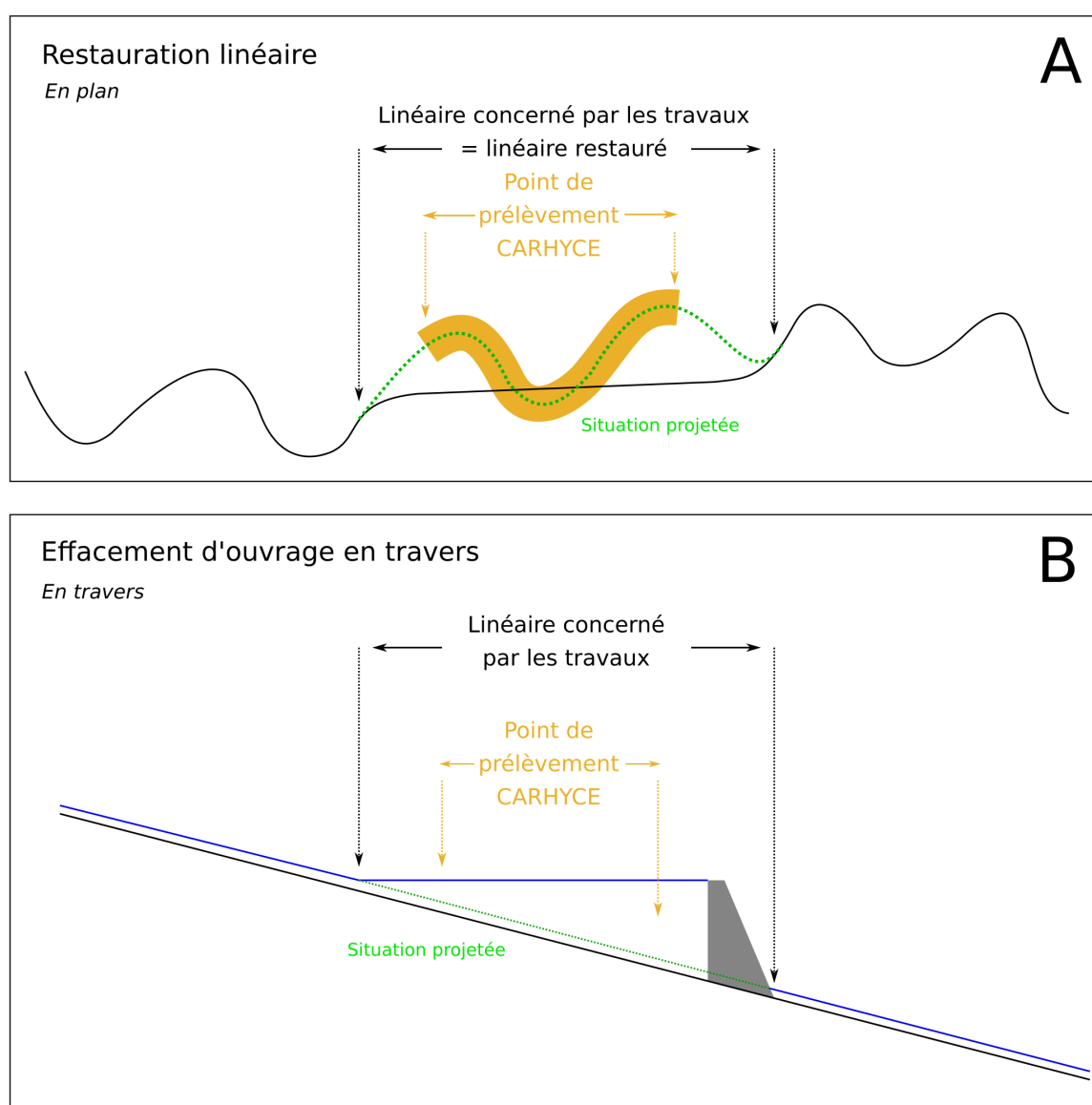


Figure 51 - Définition du linéaire concerné par les travaux dans le cas des différents types d'opérations de restauration

Définition de la zone de suivi du profil en long

La zone qui fait l'objet du suivi du profil en long comprend le linéaire concerné par les travaux dans son intégralité, étendu à l'amont et à l'aval d'une distance de 50 largeurs pleins bords du cours d'eau hors emprise d'une retenue (50 Lpb), puisque les effets de la restauration (notamment vis-à-vis des débits liquide et solide) vont contribuer à modifier le profil en long du lit au-delà du linéaire concerné par les travaux. Ainsi, pour un cours d'eau de 5 m de large, le profil en long réalisé s'étendra sur 250 m en amont de la limite amont des travaux et sur la même distance en aval de la limite aval de ceux-ci. Sur l'exemple Figure 51, si le linéaire concerné par les travaux s'étend sur 400 m et que le cours d'eau a une Lpb = 5 m, le profil en long doit être réalisé sur 900 m (Figure 52).

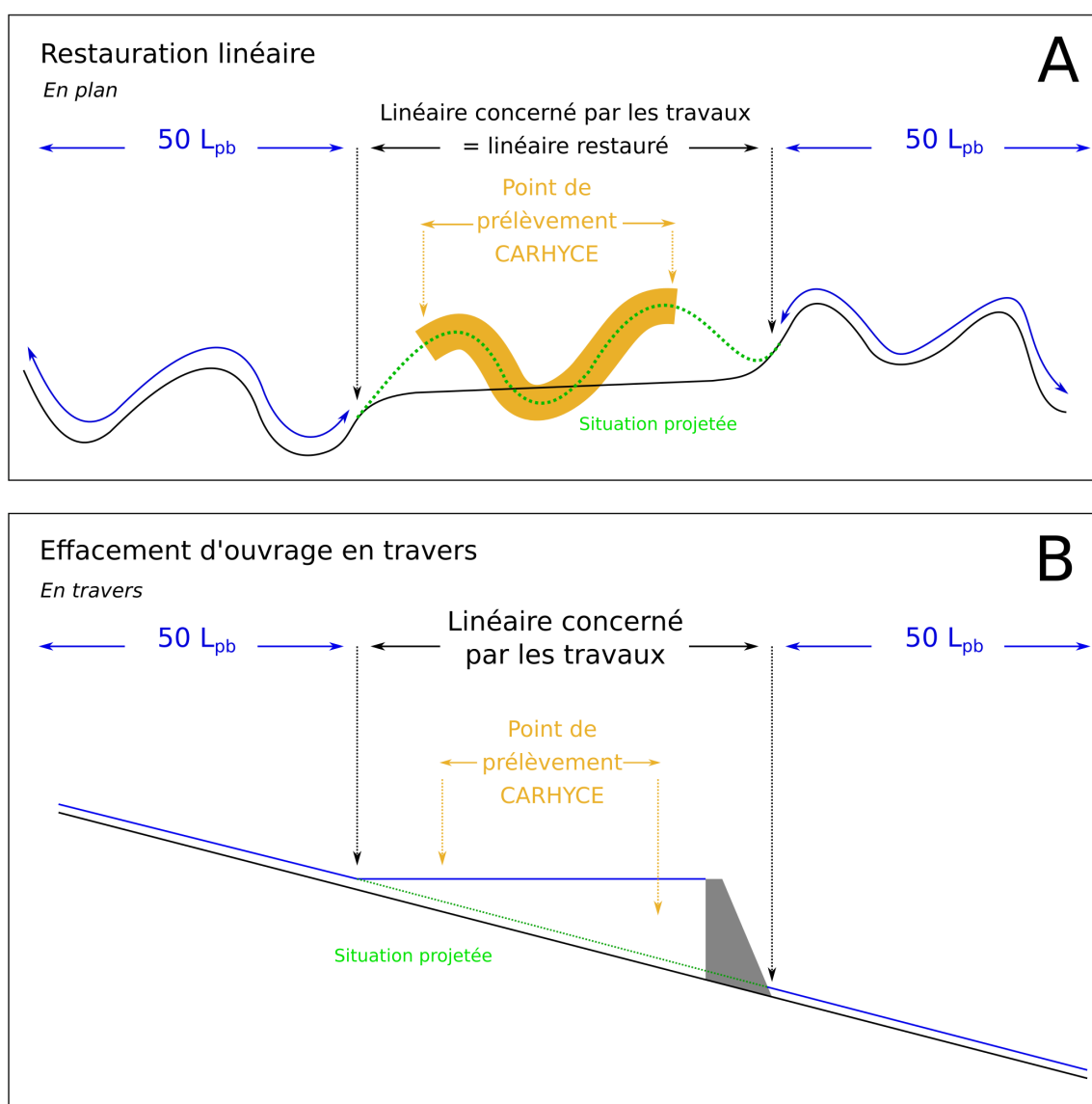


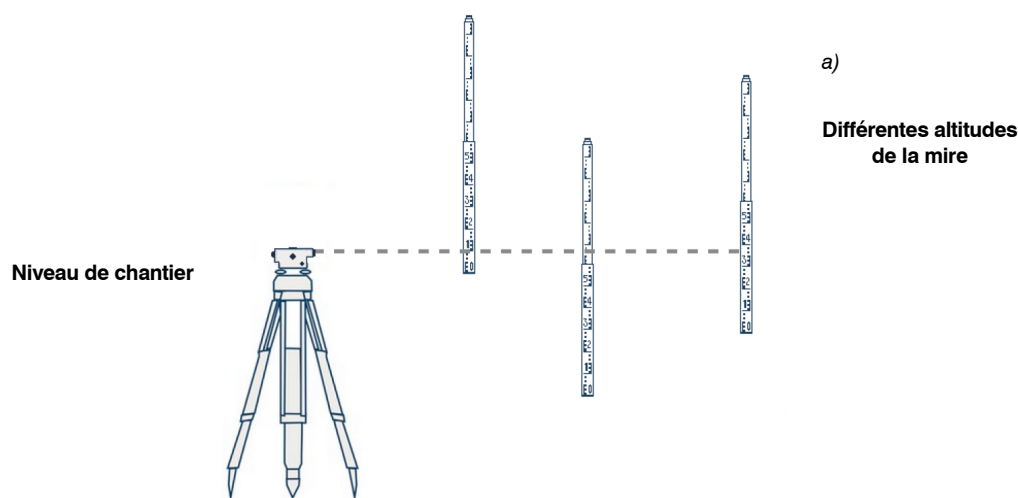
Figure 52 - Définition du linéaire qui fait l'objet du suivi du profil en long dans le cas des différents types d'opération de restauration

Réalisation du profil en long

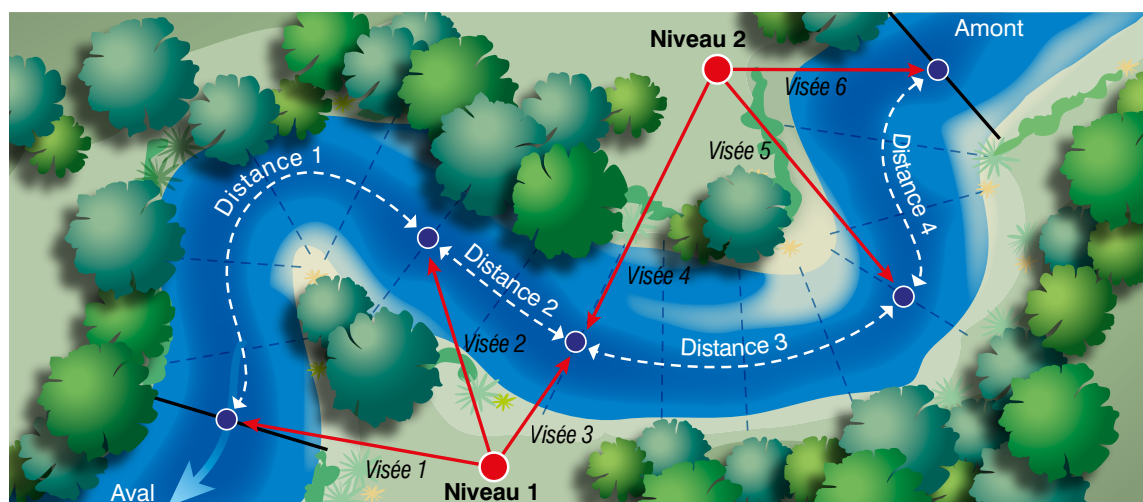
Choix de la solution topographique

Quatre méthodes de mesures topographiques, s'appuyant chacune sur des instruments spécifiques, peuvent être mobilisées pour réaliser le profil en long : le niveau de chantier (associé à une mire), le tachéomètre, et le GPS différentiel (DGPS) avec ou sans base fixe.

- Le niveau de chantier est un outil optique simple. Le niveau est réglé de manière à être horizontal et calé sur un (ou des) repère(s) fixe(s)³⁵. Puis un opérateur vise la mire maintenue par un second opérateur situé au sein du lit, à chaque point que l'on veut mesurer. La distance (longueur développée) entre ces mêmes points doit être mesurée dans l'axe du cours d'eau par un topofil. On obtient ensuite la pente par le rapport entre la différence d'altitude entre les deux points et la distance entre eux.



© N. Ploch, G. Melun et D. Baril [47], modifié d'après Manuelle Philippe et Sébastien Hervé.



© Graphies

Figure 53 - Mise en œuvre de la méthode du niveau de chantier.

a) le mode d'utilisation du niveau de chantier et de la mire, b) le tracé en plan d'un exemple de mise en œuvre.

Cet outil robuste est facile d'utilisation et présente l'avantage d'être déjà mobilisé dans le cadre du protocole Carhyce. Cependant, il rencontre plusieurs limites :

- la visée et la lecture s'avèrent difficiles à plus de 50 mètres ;
- le « champ de vision » du niveau en termes d'altitude est limité et il faut fréquemment réaliser des reports de niveau dans les zones de forte pente ;
- les données récoltées sont relatives à la position du pivot et ne peuvent pas être géoréférencées au moyen de ce seul outil ;
- les données sont notées de façon manuscrite, ce qui peut générer des erreurs de compréhension et de retranscription (biais opérateur).

³⁵ Il est préconisé de se caler à minima sur un repère fixe, idéalement situé en dehors du plein bord (ouvrage maçonné, point NGF).

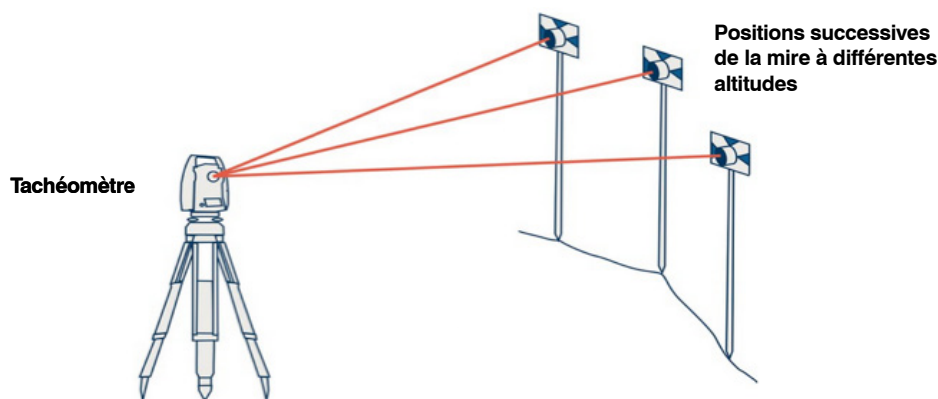


Figure 54 - Utilisation du tachéomètre.

© Crédits projet Cocosrico, Manuelle Philippe et Sébastien Hervé [48].

- Le tachéomètre est un instrument de mesure optique. Il permet de mesurer à la fois des angles et des distances, grâce à trois fonctions :
 - goniomètre : mesure des angles dans les plans horizontaux et verticaux ;
 - clisimètre : mesure des pentes ;
 - stadimètre : mesure des distances (télémètre laser ou infrarouge).

Un opérateur déplace une mire, que vise un deuxième opérateur à travers le tachéomètre. Les données sont enregistrées au format numérique dans l'appareil, et sont ensuite traitées afin de calculer la position de chaque point de la mire par rapport à celle du tachéomètre. Là encore, les données sont relatives, et il est nécessaire de connaître la position absolue du tachéomètre, pour en déduire les coordonnées précises des points mesurés.

- Le GPS différentiel avec base fixe est une solution qui s'appuie sur deux GPS : l'un est utilisé comme GPS mobile tandis que l'autre est fixe, et sert de relais. Chacun des GPS capte le signal des satellites. Ils sont également en contact par liaison radio, ce qui permet à la base de transmettre les corrections au mobile³⁶. La solution DGPS se compose donc (Figure 55) :
 - de la « base » (1), ou pivot, qui reste fixe tout au long des mesures et enregistre sa position à pas de temps régulier grâce à la liaison GPS avec les satellites captés (2). Il crée donc une multitude de positions, prises en référence à la position initiale à $t = 0$. En effet, les conditions atmosphériques notamment, ainsi que la précision intrinsèque du matériel et des signaux satellites, engendrent une erreur sur la position de la base qui devra être corrigée par post-traitement. Pour ce traitement de données, la base doit être maintenue en place pour une période minimale de 1,5 à 2 heures et ne doit absolument pas être déplacée pendant ce temps, puisqu'elle représente la *référence* qui permettra de donner une précision centimétrique aux mesures réalisées avec le deuxième GPS, appelé « mobile » (3) ;
 - du mobile qui est un GPS positionné sur une canne d'une certaine hauteur et déplacé par l'opérateur sur le terrain pour la prise de mesure. On peut utiliser simultanément autant de GPS mobiles que nécessaire. Le mobile calcule lui aussi sa position grâce à une liaison GPS avec les satellites captés, à chaque fois que l'opérateur crée un nouveau point de mesure.

Ces deux entités sont en liaison grâce à un signal radio (4), qui permet de transférer les corrections de position en temps réel au mobile [49]. Ce type de matériel peut être configuré de deux manières différentes pour corriger le positionnement : soit la base corrige directement sa position via la souscription d'un abonnement au RTK-Réseau (voir ci-dessous) ; soit les coordonnées de la base sont corrigées en post-traitement,

³⁶ Pour en savoir plus sur le principe de la correction appliquée au signal, voir « Le GPS différentiel (DGPS) et temps réel (GPS RTK) » (CETMEF, 2008).

grâce au réseau GPS permanent de stations relais (RGP) de l'IGN, dont les coordonnées sont connues. Son utilisation peut s'avérer limitée dans les vallées profondes et sous un couvert forestier dense ou par temps nuageux. En effet, ces situations peuvent entraîner des difficultés de liaison téléphonique et/ou satellitaire.

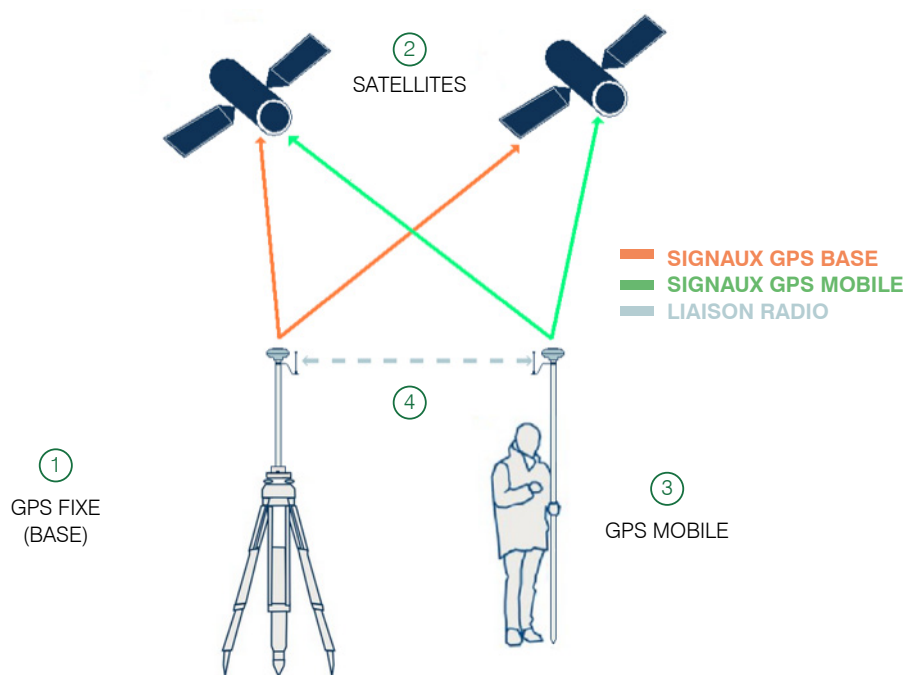


Figure 55 - Méthode du GPS différentiel avec base fixe.

© Crédits projet Cocosrico, Manuelle Philippe et Sébastien Hervé [48].

■ Le GPS différentiel relié au RTK-réseau est un second système de GPS différentiel.

Son principal avantage est de s'affranchir de la base. L'idée est que les calculs de correction soient centralisés sur un serveur auquel a accès le GPS mobile grâce à un téléphone portable. Le GPS est en contact avec le téléphone mobile par une liaison Bluetooth. Le serveur - centre de calcul - communique en temps réel les informations au GPS. C'est cette étape qui est techniquement la plus critique. En effet, il arrive souvent que les zones de mesures (rivières, zones humides...) ne soient pas couvertes par le réseau GSM. L'utilisation de ce type de matériel devient alors impossible puisque les corrections ne peuvent être transférées au mobile. Cela constitue un inconvénient majeur. Hormis cela, ce type de technologie présente de nombreux avantages :

- le coût d'achat est réduit puisqu'il ne s'agit plus d'investir dans deux GPS (une base et un mobile), mais dans un seul. Cependant, l'abonnement au réseau de correction (Orpheon³⁷, Sat-Info³⁸ ou Teria³⁹), peut s'avérer plus coûteux pour une couverture nationale avec le réseau Orpheon par exemple ;
- il n'y a plus de contrainte liée à la liaison radio avec la base et l'opérateur peut se déplacer sans contrainte de distance, ce qui constitue un énorme avantage pour la réalisation de profils en long notamment.

Actuellement, ce genre de matériel est donc bien adapté pour des mesures en zone bien couverte par le réseau GSM, tandis qu'il est préférable d'utiliser un couple base-mobile pour des mesures dans les secteurs où la connexion GSM est peu fiable.

Fréquence et répartition des points

La prise de points se fait dans le fond du lit mouillé, au point le plus bas de la section en travers. Deux possibilités⁴⁰ décrites ci-après s'offrent alors selon le temps disponible, l'ambition du suivi, la finesse du profil souhaitée et le matériel à disposition. Dans tous les cas on veillera à localiser précisément (marquage visuel et géoréférencement) les points de début et de fin de suivi lors de la première campagne. Les opérateurs se recaleront sur ces limites lors des suivis ultérieurs.

³⁷ <http://reseau-orpheon.fr/>

³⁸ <http://www.sat-info.fr/>

³⁹ <https://www.reseau-teria.com/>

⁴⁰ La méthode de prise de point choisie lors de l'état initial sera conservée pour toute la durée du suivi.

- **Prise de points en routine** : dans ce cas, il s'agit de prendre des mesures à intervalles réguliers, fixés a minima à $5 L_{pb}$. On peut améliorer la finesse du profil en réduisant cet écart (multipliant le nombre de points). Il reste cependant essentiel, dans le cadre du suivi, de fixer un écartement entre les points et de s'y tenir au fil des campagnes de mesures.

Exemple

Pour un cours d'eau de 2 m de largeur pleins bords restauré sur un linéaire de 100 m, on obtient un profil en long composé de 10 points au niveau du linéaire concerné par les travaux et 10 points en amont et en aval de ce linéaire, → soit a minima 30 points au total. Pour un cours d'eau de 5 m de large, restauré sur un linéaire de 400 m, on obtient un profil en long composé de 16 points au sein du linéaire concerné par les travaux et 10 points en amont et en aval de ce linéaire, → soit a minima 36 points au total.

- **Prise de points en fonction de la pente** : pour chaque changement de pente du fond du lit, un point GPS est fait. Ce choix de protocole est à privilégier car il permet un recensement fin et exhaustif des modifications de la pente, plutôt que la prise de points en routine qui donne un aperçu plus partiel. Cette méthode est particulièrement recommandée dans le cas des cours d'eau à fond mobile (charriage actif) ainsi que des plus petits cours d'eau. Lorsque certains faciès - notamment les plats lenticulaires ou les plats courants - sont très étendus ($> 4 L_{pb}$) des points intermédiaires peuvent être pris pour mieux caractériser l'homogénéité du fond.

Post-traitement et bancarisation

Les coordonnées obtenues sur le terrain, quelle que soit la solution topographique retenue peuvent être incorporées dans le classeur de bancarisation (fichier « bancarisationPL.xls ») joint à la fiche. Celui-ci permettra de compiler les données relatives au profil en long au fil des campagnes de suivi (1 onglet par campagne).

Suivi des faciès d'écoulement

Définition des faciès d'écoulement

Malavoi et Bravard (2010) [46] définissent par faciès d'écoulement : « [de] petites portions de cours d'eau (d'une longueur comprise entre 1 et 10 fois la largeur à pleins bords environ) présentant une homogénéité, de l'échelle de quelques m^2 à quelques centaines de m^2 , sur le plan des vitesses, des profondeurs, de la granulométrie, de la pente du lit et de la ligne d'eau, des profils en travers ». Ces unités hydromorphologiques fondamentales ainsi que leur succession au sein du lit mineur traduisent directement les processus physiques à court terme (érosion/dépôt) et permettent donc d'appréhender la « fonctionnalité » d'un cours d'eau. La diversité des faciès d'écoulement autorise une diversité d'habitats qui favorise elle-même une diversité des biocénoses présentes.

Objectifs du suivi des faciès d'écoulement

Les objectifs du suivi des faciès d'écoulement dans le cadre du SSM sont de pouvoir :

- caractériser l'évolution de la morphologie du lit ;
- quantifier la diversification post-restauration de ces faciès.

Cette diversification, caractérisant une hétérogénéisation des conditions d'habitat, constitue un bon indicateur d'amélioration de la qualité du milieu.

Mise en œuvre du suivi des faciès d'écoulement

En même temps que le relevé altimétrique du lit (profil en long), il est recommandé de renseigner la répartition des faciès d'écoulement suivant la typologie des faciès de Malavoi & Souchon [50]. On s'appuiera pour cela sur la distinction des 6 faciès majeurs (Chenal lentique/Mouille/Plat lentique/Plat courant/Radier/Rapide). L'étendue des différents faciès est mesurée au fil de la progression vers l'aval, grâce au topofil (ou directement noté par des points GPS, le cas échéant). Il est rappelé de bien veiller à localiser précisément les limites amont et aval du suivi, dès la première campagne, afin d'assurer un recouvrement optimal des différents relevés. Le relevé est reporté directement sur la fiche terrain.

Données diachroniques

Certaines données relatives au profil longitudinal peuvent déjà exister et être intéressantes à mobiliser pour mettre en perspective les réajustements morphologiques récents du lit, notamment suite à la restauration :

- études hydrauliques préexistantes (voir syndicat mixtes, EPTB, Archives départementales, associations) ;
- **profils** des grandes Forces Hydrauliques.

https://geodesie.ign.fr/fiches/index.php?module=e&action=e_profils

Bibliographie spécifique

46. Malavoi, Jean-René et Jean-Paul Bravard, 2010. *Éléments d'hydromorphologie fluviale*. Physio-Géo. Géographie physique et environnement. 224 pages.
48. Hénaff, Alain, 2014. *Gestion des risques d'érosion et de submersion marines : guide méthodologique*. Équipe Littoral, environnement, télédétection, géomatique.
49. CETMEF, 2008. *Le GPS différentiel (DGPS) et temps réel (GPS RTK)*. 6 pages.
50. Malavoi, Jean-René et Yves Souchon, 2002. *Standardized description of streams and rivers channel geomorphic units: Qualitative description key and physical measurements*. Bulletin Français De La Pêche Et De La Pisciculture, (365-66): p. 357-372.