



**HAL**  
open science

## Réaligner les données LiDAR multi-temporelles: pourquoi?

S. Tacon, Guillaume Piton, Frédéric Liébault

► **To cite this version:**

S. Tacon, Guillaume Piton, Frédéric Liébault. Réaligner les données LiDAR multi-temporelles: pourquoi?. MorphEau Conseils; IGE – Institut des Géosciences de l’Environnement. 2023, pp.4. hal-04206197

**HAL Id: hal-04206197**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04206197>**

Submitted on 23 Nov 2023

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Rédaction

Sandrine TACON<sup>1</sup>  
Guillaume PITON<sup>2</sup>  
Frédéric LIEBAULT<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Morph'eau Conseils, Chazay d'Azergues, France

<sup>2</sup> Univ. Grenoble Alpes, INRAE, CNRS, IRD, Grenoble INP, IGE, 38000 Grenoble, France.

## Version

#1 du 20/03/23

## Financement

La rédaction de la présente note a bénéficié des financements de l'Union Européenne - Programme INTERREG V-A France-Italie (ALCOTRA) 2014-2020, Projet "RITA" n.8504.

# Réaligner les données LiDAR multi-temporelles: pourquoi?

Objet : comprendre les situations dans lesquelles il est nécessaire de prévoir un travail de réalignement de données LiDAR dans les études d'hydromorphologie

**Résumé:** La technologie LiDAR permet l'acquisition de topographies à haute résolution. Elle est devenue un outil majeur des études géomorphologiques des corridors fluviaux. Elle présente toutefois des limites d'utilisation : les faisceaux de lumière infrarouge ne pénètrent pas dans l'eau et nécessitent donc des mesures complémentaires de terrain et surtout, deux acquisitions LiDAR, bien que géoréférencées, doivent être soigneusement réalignées avant de procéder à des calculs de volumes érodés et déposés sous peine de fournir des résultats biaisés. Cette note donne quelques éléments d'explication sommaire sur la technologie et sur ce problème de réalignement.

## Description des données LiDAR

La technologie de levé LiDAR (*Ligh Detection And Ranging*) aérien permet une acquisition rapide de la topographie et du couvert végétal à de fines résolutions spatiales et sur de grandes étendues. Un levé de l'ensemble du territoire métropolitain a été lancé en 2021 et les données sont progressivement mises à disposition sur le site de l'IGN : <https://geoservices.ign.fr/lidarhd>. Cette technologie est fondée sur le calcul du temps entre l'émission et la réception d'un faisceau laser, généralement d'une longueur d'onde proche de l'infrarouge. L'avantage des données LiDAR par rapport à la photogrammétrie est de mesurer la topographie sous la végétation.

Les données brutes se présentent généralement sous la forme d'un nuage de points 3D classifiés (sol, végétation, bâti, eau, ...) tel qu'illustré dans les Figure 1 et 2.

On tire de l'analyse de ce dernier un Modèle Numérique de Terrain (MNT) correspondant à une représentation de la topographie du sol et un Modèle Numérique de Surface (MNS) qui représente les points sol et sursol (bâti, végétation).

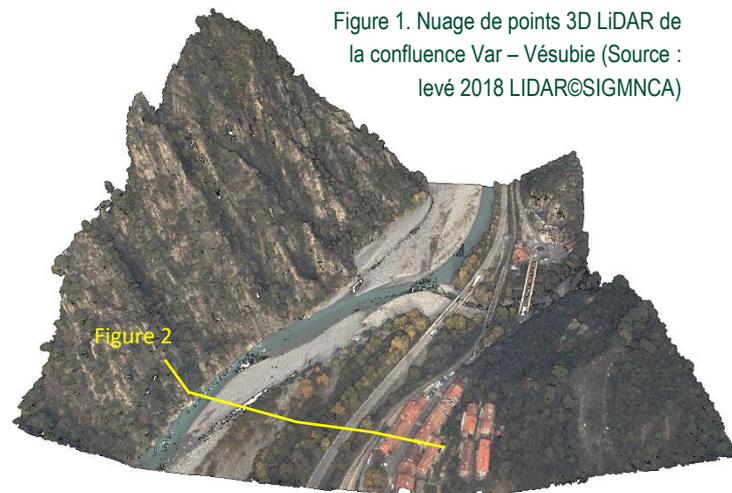


Figure 1. Nuage de points 3D LiDAR de la confluence Var - Vésubie (Source : levé 2018 LIDAR©SIGMNCA)

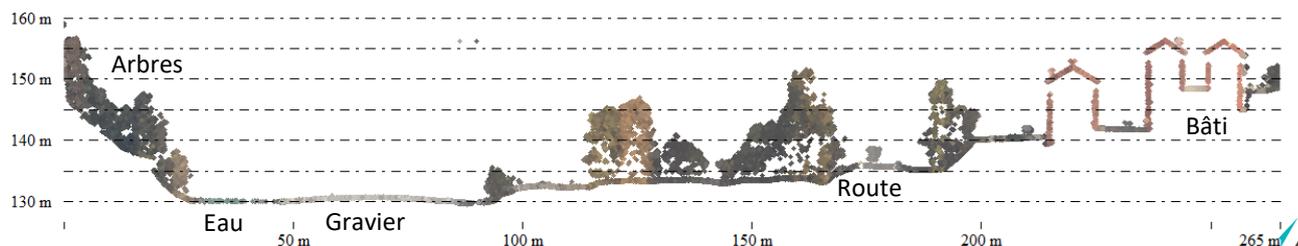


Figure 2. Illustration d'un profil en travers extrait du nuage 3D.

Le LiDAR aérien infrarouge ne permet pas de mesurer la bathymétrie des cours d'eau et plus largement la topographie des surfaces immergées. Cependant, les échos peuvent être rétrodiffusés par les surfaces en eau, qui ont une faible hauteur d'eau et une rugosité en surface. Pour les surfaces en eau planes et de forte profondeur, les échos sont totalement absorbés par l'eau et ses surfaces seront caractérisées par une absence de point.

Le LiDAR aérien vert couplé infrarouge permet de mesurer la topographie des surfaces émergées et immergées de faible profondeur. Cette technologie, proposée par la plateforme Lidar Aéroporté Topo-Bathymétrique Nantes-Rennes (Lague et Feldmann, 2020), présente actuellement des limites d'utilisation (turbidité, faible profondeur, végétation aquatique). Cette technologie est encore peu utilisée, mais elle a vocation à se développer dans les prochaines années.

## Exemples d'utilisation en géomorphologie fluviale

Différentes applications peuvent être réalisées à partir des MNT et des MNS extraits des données LiDAR :

- cartographie géomorphologique identifiant les entités formant le paysage des corridors fluviaux : chenaux en eau, bancs de graviers, berges des chenaux, terrasses fluviales, cônes de déjection, ravines... ;
- caractérisation de la végétation rivulaire : végétation buissonnante, stades pionniers, forêts matures... ;
- description des emprises et des caractéristiques géométriques principales d'ouvrages hydrauliques tels que les digues et les barrages ;
- extraction des profils en long des cours d'eau ; les données LiDAR infrarouge ne permettant pas d'acquérir la topographie immergée, ces profils en long sont des profils de ligne d'eau ;
- extraction des profils en travers sur des sections définies ; là aussi, la topographie sous l'eau n'est pas retranscrite et doit être complétée par des levés terrestres ;
- calcul d'indicateurs géomorphologiques tels que le BRI (*Bed Relief Index*), la hauteur des terrasses et l'encaissement de la bande active.

L'acquisition multi-temporelle permet d'étudier les changements morphologiques par comparaison des profils en long et en travers et en créant des différentiels topographiques entre deux MNT (différence d'altitude entre deux dates pour chaque pixel). Les différentiels de MNT permettent de mettre en évidence les changements morphologiques (érosion, dépôt) entre les deux dates et de calculer les volumes déposés et érodés et le bilan volumétrique net (Figure 3).

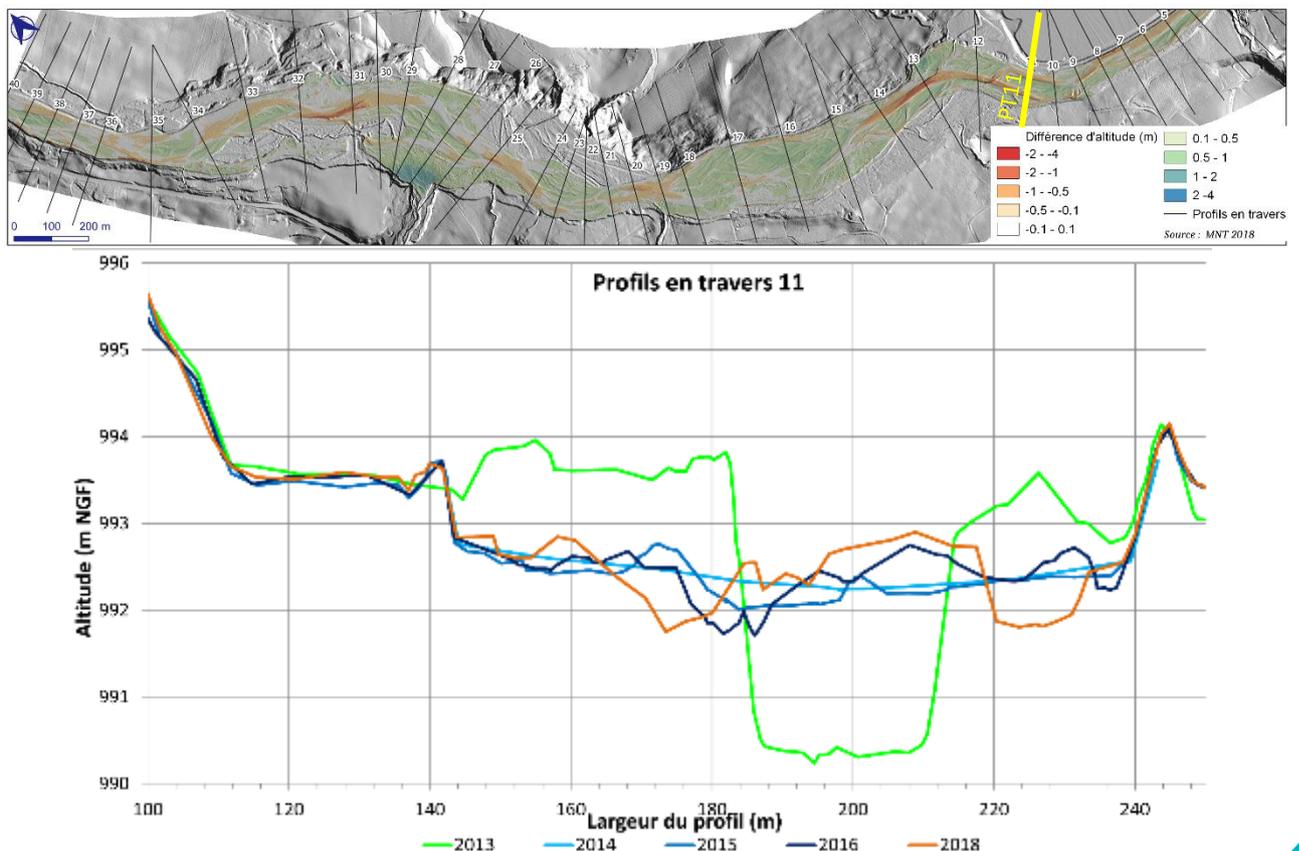


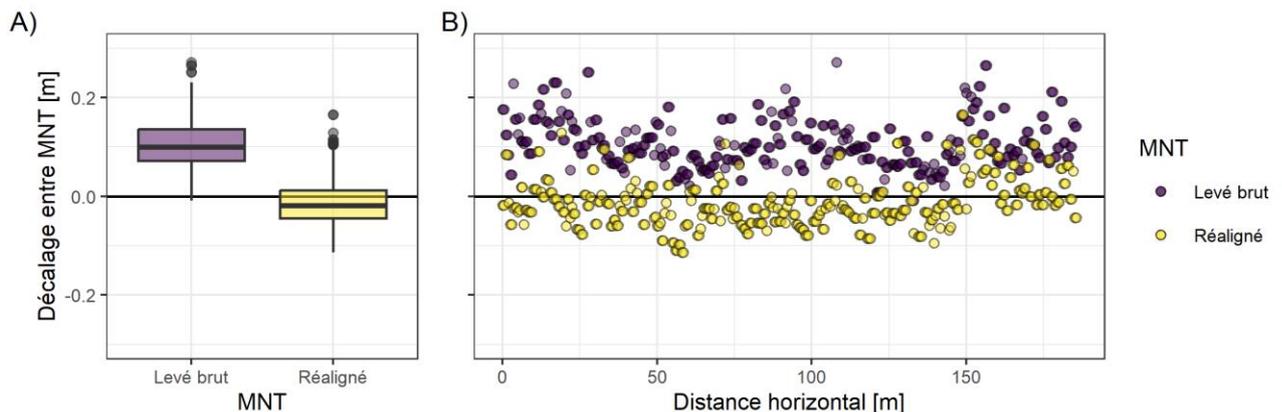
Figure 3. Exemples d'utilisation de donnée LiDAR multi-dates sur le site de restauration du Drac (Source : Morph'eau Conseils, 2019)

L'obtention de données LiDAR adaptées aux études en hydromorphologie nécessite de respecter plusieurs critères qui doivent faire l'objet d'une certaine vigilance :

1. une forte densité de points après la filtration des points sursol, y compris sous les zones végétalisées (les levés modernes réalisés avec des densités de 10 – 20 points/m<sup>2</sup> y compris les points sursol satisfont en général cette condition) ;
2. une bonne classification des points sol et sursol pour une représentativité adéquate des formes sous la végétation et en particulier au niveau des berges végétalisées ; ceci induit un effort de filtration manuel important de la part de l'opérateur LiDAR, en complément de la filtration automatique réalisée par les logiciels dédiés ;
3. l'évaluation de la qualité des données par des surfaces de contrôle au sol, réparties le long du périmètre levé, est aussi primordiale pour vérifier la précision des données LiDAR.

## Pourquoi réaligner les données LiDAR multi-temporelles ?

Même si les progrès technologiques sont réguliers, les méthodes de géoréférencement des données LiDAR ne sont pas exemptes d'erreurs, le plus souvent légères. Il a été démontré que deux levés LiDAR considérés correctement géoréférencés (fournis par les opérateurs LiDAR) montraient un léger décalage, de l'ordre de quelques centimètres en altitude (Figure 4). Ce décalage est de plus variable dans l'espace et probablement lié à des conditions d'acquisition variables pendant le vol. Le long de la route utilisé pour contrôler la précision du réalignement (Figure 4), le décalage du MNT réaligné n'est pas tout à fait nul (valeur moyenne : 1.1 cm), mais il est significativement plus faible que le décalage du MNT brut (valeur moyenne : 10.8 cm).



Ce décalage généralement relativement faible (< 10 cm, jusqu'à 16 cm dans l'analyse de Retour d'Expérience mené sur la Vésubie suite à la tempête Alex) n'induit qu'une erreur négligeable d'interprétation pour la comparaison des profils en long et en travers. Ce décalage est en effet souvent inférieur à la marge d'incertitude utilisée pour ce type d'analyse. En revanche, pour le calcul des bilans sédimentaires, la propagation de cette erreur systématique sur une grande surface amène à des bilans sédimentaires totalement erronés (Lallias-Tacon, 2015) comme l'illustrent les exemples ci-dessous.

### Exemple sur le Bès (affluent de la Bléone):

Sur un linéaire en tresses de 7 km, le bilan sédimentaire avant réalignement était estimé à un volume sédimentaire positif de 49 000 m<sup>3</sup> de dépôts. Après réalignement, le bilan sédimentaire net est passé à un volume négatif de 4 500 m<sup>3</sup> d'érosion. Le décalage moyen sur une route était de seulement de -2,6 cm avant réalignement. Un décalage moyen de 0,56 cm persistait après réalignement (Lallias-Tacon et al. 2014).

### Exemple sur le Vésubie :

Sur un linéaire de 36 km de la Vésubie et de ses deux affluents principaux (Le Boréon et la Madone de Fenestre), la crue d'octobre 2020 (tempête Alex) a généré des érosions estimées à 54 000 m<sup>3</sup> sur le fond de vallée avant réalignement des LiDAR. Ce volume a été ré-estimé à 509 000 m<sup>3</sup> après réalignement. L'erreur systématique est ainsi de passée de +16,0 cm à -1,1 cm sur la Vésubie aval, de +7,5 cm à -0,16 cm sur la Vésubie amont, et de +4,9 cm à -0,8 cm sur le Boréon.

**Le réalignement des nuages de points LiDAR est donc essentiel avant de calculer des bilans sédimentaires.**

## Comment réaligner les données LiDAR

Plusieurs logiciels permettent de procéder à des réalignements de données LiDAR, notamment Polyworks (logiciel payant) ou Cloud Compare (logiciel gratuit, téléchargeable sur le site : <https://www.danielgm.net/cc/>). Ces logiciels permettent de réaligner des nuages 3D en appliquant une opération combinant des décalages horizontaux et verticaux, une rotation 3D et un ajustement des distances dans les trois directions.

Le travail de réalignement est réalisé à partir de points ou de zones de références considérées comme stables, en général des points du sol ou sur des bâtis. Le décalage pouvant être spatialement variable et la quantité de données à manipuler étant importante, le réalignement est réalisé à l'échelle de bloc (1-2 km) si le levé LiDAR est étendu. Ces blocs doivent englober la rivière et des zones périphériques assez larges intégrant des surfaces stables servant au réalignement (Figure 5).

Les zones stables choisies pour le réalignement sont cartographiées préalablement à partir du différentiel brut entre les deux MNT permettant d'éviter les zones ayant subies des modifications entre les deux levés (modifications naturelles ou anthropiques ou liées au processus de filtration des données LiDAR).

Pour un résultat correct, les surfaces stables doivent être bien réparties de part et d'autre de la rivière et sur l'ensemble du bloc. Ces surfaces stables sont utilisées pour réaligner les deux nuages de point en choisissant un échantillon de points de référence. Le nuage de point utilisé comme référence est généralement celui présentant la meilleure qualité (densité de points, précision par rapport aux points de contrôle au sol). La matrice de transformation décrivant le réalignement des points de référence est ensuite appliquée à l'ensemble du bloc.

Les opérations de réalignement menées à l'occasion du ReTex sur la Vésubie ont montré que les résultats étaient meilleurs si les zones stables comprenaient non seulement des zones d'altitude fixe telles que les routes, mais aussi des portions de versant stables permettant de recalibrer les nuages de points aussi finement en X et Y qu'en Z. La Figure 5 montre en effet qu'un biais persiste sur le différentiel résiduel quand le réalignement est mené seulement avec des points situés sur les routes (sur la Figure 5c, le versant Nord est plus rouge tandis que le versant sud est plus noir : des erreurs résiduelles sont associées à un décalage horizontal). En utilisant versants et routes, les erreurs résiduelles sont plus faibles et distribuées aléatoirement dans l'espace (Figure 5b).

Le MNT post-réalignement est ensuite produit à partir du nuage de point 3D réaligné par triangulation.

## Bibliographie

- Lague D, Feldmann B. 2020. Topo-bathymetric airborne LiDAR for fluvial-geomorphology analysis. In *Developments in Earth Surface Processes*; 25-54.
- Lallias-Tacon S, Liébault F, Piégay H. 2014. Step by step error assessment in braided river sediment budget using airborne LiDAR data. *Geomorphology* **214** : 307–323. DOI: [10.1016/j.geomorph.2014.02.014](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.02.014)
- Lallias-Tacon S. 2015. *Analyse spatio-temporelle de la morphologie des rivières en tresses par LiDAR aéroporté*. Thèse de doctorat. Université Lyon 2.
- Morph'eau Conseils, SIGosphère, OPSIA, 2019, Suivi topographique sur le Drac amont, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, CLEDA.

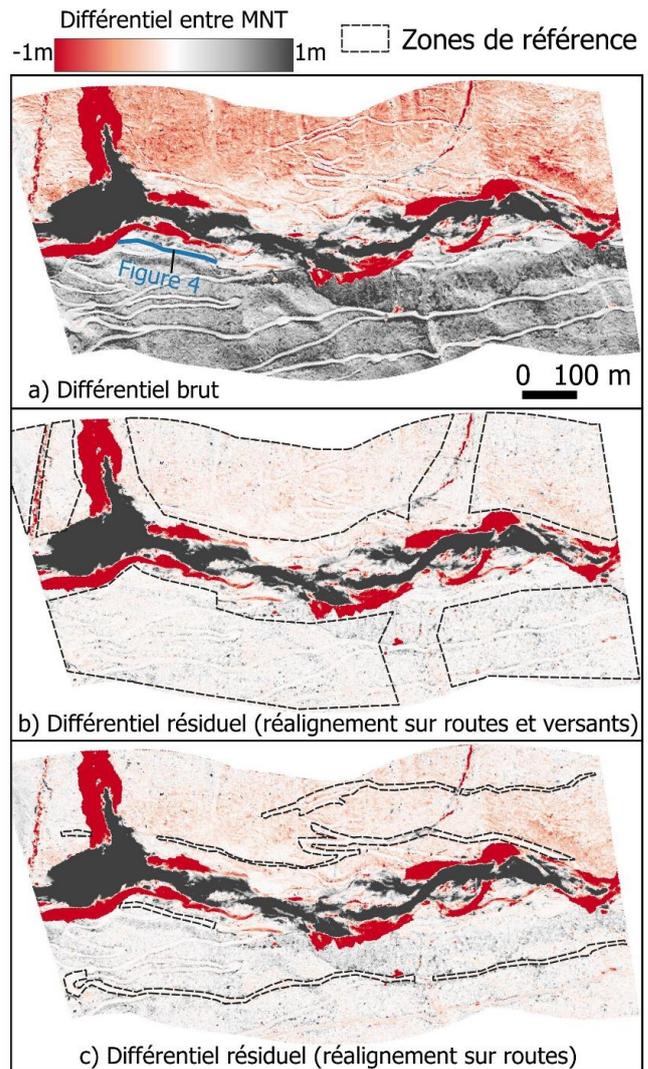


Figure 5 : a) Illustration du décalage initial entre deux levés LiDAR; b) Décalage résiduel suite à recalage sur routes et versants; c) Décalage résiduel suite à recalage uniquement sur les routes