

L'IMPACT DE L'ÉVOLUTION DES DONNÉES TOPOGRAPHIQUES DANS LA CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA

The impact of topographic data changes in hazard mapping

Auteurs : ESCUDIER Aurélie¹, HANS Pierre-Adrien², FLAMANC David¹, ZUBER Félicien³

¹ DREAL Occitanie, 1 rue de la Cité administrative, 31074 Toulouse Cedex 9, France, e-mail : aurelie.escudier@developpement-durable.gouv.fr

² DREAL Centre-Val de Loire, 5, Avenue Buffon, BP 6407 45064 ORLEANS Cedex 2, France, e-mail: pierre-adrien.hans@developpement-durable.gouv.fr

³ Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (MTECT/DGPR/SRNH), 42 avenue Gaspard Coriolis, Toulouse, France, felicien.zuber@developpement-durable.gouv.fr

Résumé : De tout temps, la cartographie des inondations s'est basée sur la compréhension des écoulements au regard de la configuration topographique du lit mineur, du lit majeur et des éléments structurants (remblais, digues) le composant. Aussi, la précision de la description topographique d'un territoire revêt une importance majeure dans l'exercice de cartographie des inondations. Avec l'arrivée en 2022 de données topographiques à haute densité obtenues par technologie LIDAR, des questions se sont posées concernant la qualité de ces nouvelles données, notamment celles acquises en période estivale au regard des données jusqu'à présent acquises en période hivernale sur la majorité des cours d'eau Vigicrues. Début 2023, une étude comparative a été menée sur le secteur de la Garonne agenaise permettant d'établir le constat d'un fort impact de la saison d'acquisition du LIDAR HD et de la couverture végétative sur la pertinence de l'information topographique et le résultat produit de zone inondée. Néanmoins, l'acquisition de donnée LIDAR à si haute densité n'avait jamais été réalisée à une si grande échelle. Cette nouvelle campagne ouvre donc des perspectives intéressantes en matière de caractérisation du territoire, notamment hors réseau Vigicrues, qu'il sera nécessaire d'étudier plus largement.

Mots-clefs : LIDAR Haute Densité, Inondation, Cartographie, Précision

Abstract : Flood mapping has historically been based on the understanding of flows with regard to this topography in stream channel, flood plain and its structuring elements. Topographic data precision is also important in flood mapping exercises. LIDAR high density topographic data have raised specific issues, in particular for the ones acquired in the summer period, in relation to light of existing data acquired in winter period on the majority of Vigicrues watercourses. A comparative study has been carried out on the Garonne agenaise area in early 2023, leading to the observation of a strong impact of the HD LIDAR acquisition season and the vegetative cover, more precisely on the relevance of the topographic information and the flooded area resulting. Nevertheless, these data – which had never been acquired on such a large scale until 2022 – open up interesting perspectives in territory monitoring, particularly outside the Vigicrues network, which will need to be studied more widely.

Keywords: High Density LIDAR, Flooding, Mapping, Accuracy

2. La cartographie des inondations, une histoire de modèles numériques de terrain

Le risque d’inondation est l’un des premiers risques naturels en France : 17 millions d’habitants sont soumis au risque d’inondation par débordement de cours d’eau et 1,4 millions au risque de submersion marine. Pour caractériser ce risque, les politiques publiques se sont dotées depuis le milieu du XX^{ème} siècle d’outils informatifs et réglementaires (Plans des Surfaces Submersibles, Atlas des Zones Inondables, Plans de Prévention des Risques d’Inondation (PPRi), Directive Inondation, etc) basés sur un socle commun : la cartographie des zones inondables.

Les méthodes pour évaluer l’altitude atteinte par les eaux pour un aléa d’inondation donné sont aujourd’hui très variées et vont de l’interpolation d’une ligne d’eau de crue à la modélisation 2D. Les hauteurs de submersion sont obtenues par la différence entre l’altitude des eaux et l’altitude du sol. Cette information topographique caractérisant le sol nu d’un territoire mais également ses particularités topographiques telles que les infrastructures (digues, routes, remblais) se présente aujourd’hui en grande majorité sous la forme de Modèles Numériques de Terrain (MNT).

Ainsi, dans les années 90 dans le cadre des premiers travaux de cartographies de zones inondables « modélisées » menés dans le cadre des PPRi, c’est le produit IGN BD ALTI® qui a servi de donnée d’entrée à l’établissement de ces documents réglementaires avec une résolution spatiale de 25 m et des écarts-type de précision altimétrique pouvant aller jusqu’à quelques mètres sur certaines zones.

Dans les années 2000, avec la nécessité d’avoir une représentation de la topographie plus précise, les premières données LIDAR sont acquises dans des cadres plutôt spécifiques, tels que ceux financés dans le cadre du Plan Loire Grandeur Nature sur la Loire moyenne dès 2002. Basées sur une technologie de laser aéroporté, les données brutes acquises prennent la forme d’un nuage de points (Figure 1). Des applications spécialisées sont utilisées pour traiter la volumétrie importante des données et classer automatiquement les points entre le sol et plusieurs catégories de sur-sol. Les densités de points au sol pour les premières acquisitions sont de l’ordre d’un point pour quelques mètres carrés à quelques points par mètre carré. L’interpolation de ces semis de points, généralement par l’intermédiaire d’une triangulation (TIN), permet d’obtenir les premiers MNT de résolution inférieure à 5 m et de précision altimétrique de quelques décimètres.

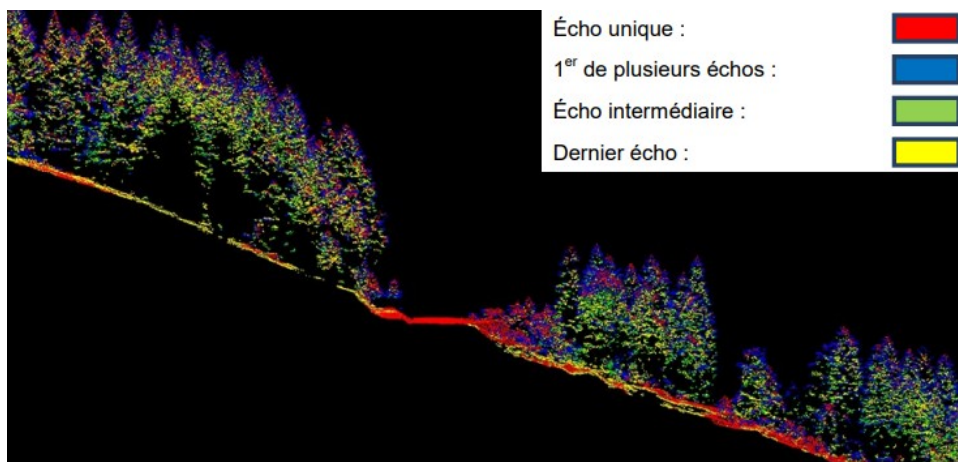


Figure 1: Nuage de points obtenus lors d’une acquisition topographique par LIDAR aéroporté (source : IGN)

En 2011, la Directive inondation du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation et l'exercice imposé de cartographies pour les 3 aléas de crues (fréquent, moyen, fort) impulse une ambition forte d'acquérir de la donnée topographique de qualité sur les linéaires des grands cours d'eau. Parallèlement, les services de prévision des crues (SPC) et le réseau Vigicrues s'engagent dans la prévision des inondations et la production de zones d'inondation potentielle (ZIP). Dans ce contexte, le SCHAPI - tête de réseau Vigicrues - et la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) ont lancé avec l'institut national de l'information géographique et forestière (IGN) l'acquisition à grande échelle de données topographiques haute résolution. Principalement orientée sur les cours d'eau Vigicrues, cette campagne a été définie dans le cadre d'une convention dédiée, entre 2011 et 2014. Cette première génération de levés LIDAR acquis sur la France a été produite en période hivernale (de mi-novembre à mi-avril). Le MNT, produit à une résolution de 1 m, était issu d'un semis de point d'une densité de 2 points par mètres carrés. Les travaux cartographiques menés dans le cadre de la Directive Inondation par le CEREMA mettant en œuvre l'utilisation de ce MNT de densité 2 points, ont montré l'importance « *de réaliser les campagnes aériennes pour l'acquisition de données LIDAR en période « sans feuille » et « sans culture », par beau temps et si possible avec des débits dans les cours d'eau les plus faibles possibles ainsi qu'à marée basse* » [Laroche, 2014]. Cette restriction de la période d'acquisition vise à éviter la saison de végétation et obtenir la meilleure précision altimétrique possible.

Cette première campagne a été suivie d'une seconde entre 2016 et 2019, avec les mêmes spécifications de levés qu'en 2011 et a eu pour objectif de couvrir les « autres cours d'eau » sur lesquels des besoins de cartographies PPRI ou ZIP étaient identifiés. Les données acquises dans le cadre de ces conventions, représentant une superficie d'environ 80 000 km² soit environ 15 % du territoire national ont été intégrées dans le RGE Alti®, accessible à tous et constituant la référence pour tous les acteurs de la prévention des risques.

2. Ce que la première génération de MNT LIDAR a amené dans la cartographie de zones inondables

2.1 Une révolution pour la définition de l'aléa inondation

La génération de MNT LIDAR issue des levés 2011-2014 a permis de poser les bases de nombreuses réflexions méthodologiques, en particulier au sein du réseau de la prévision des crues. Ces nouvelles données, de grande qualité, ont apporté un gain considérable dans la précision de la représentation d'une zone inondable, notamment pour les ZIP. Ces données plus denses ont permis d'avoir une meilleure vision de la topographie et des éléments structurant un lit majeur (infrastructures, routes, etc.) et d'ouvrir un champ étendu de possibilités d'exploitation pour la cartographie d'inondation, parmi lesquelles l'extraction de l'altitude de laisses de crues à partir de prises de vues aériennes [Escudier *et al.*, 2015] ou l'obtention de produits dérivés liés aux ouvrages hydrauliques ou infrastructures [Laroche *et al.*, 2014].

La construction des ZIP à partir de cette nouvelle génération de MNT a permis d'obtenir un rendu très fin, mais parfois pouvant donner une fausse impression de précision et des secteurs « bruités ». Couplé au besoin d'une donnée d'aléa légère pour une bancarisation dans Viginond [Escudier *et al.*, 2016], cet aspect a entraîné le développement d'outils facilitant la construction de l'aléa et le lissage des données vectorielles produites par les producteurs de données – SPC, CEREMA, bureaux d'études – à l'image de DICarto [Pons, 2013] développé par le CEREMA dès 2011 puis du plugin QGIS CartoZI [MEDDE, 2016] par le réseau Vigicrues dès 2014.

Enfin, la topographie précise disponible de manière continue – couplée au développement des capacités de calcul des ordinateurs – a entraîné le développement de modèles hydrauliques davantage raffinés en lit majeur, d’abord avec des casiers de plus en plus fins, puis avec des modèles bidimensionnels qui sont aujourd’hui mis en œuvre de manière plus systématique dans les études relatives à la cartographie de l’aléa inondation.

2.2 Des produits spécifiques dérivés difficile à obtenir à grande échelle

Au-delà de l’aspect purement informatique, des besoins en produits dérivés complémentaires sont apparus en réponse à un besoin de gestion de crise. Par exemple, la suppression des tabliers de ponts des MNT – logiquement considérés comme du sur-sol lors du post-traitement des semis de points par l’IGN – ne permet pas d’identifier leur état de submersion réel pour un scénario d’inondation donné. Des travaux spécifiques pour la ré-intégration de l’altitude des tabliers de ponts (Figure 2), notamment menés par le SPC Loire-Cher-Indre, ont ainsi posé la question de l’exploitation des nuages de points LIDAR.

Si les nuages de points bruts et classés (NUALID) ont pu être livrés entre 2016 et 2019, suite à une demande exprimée par la DGPR, la généralisation à l’échelle de l’ensemble des campagnes réalisées a toutefois été mise de côté compte tenu de l’incapacité de la plupart des services à manipuler ces données, dont la volumétrie et le format imposent l’utilisation de logiciels spécifiques et rendent leur exploitation longue et complexe.

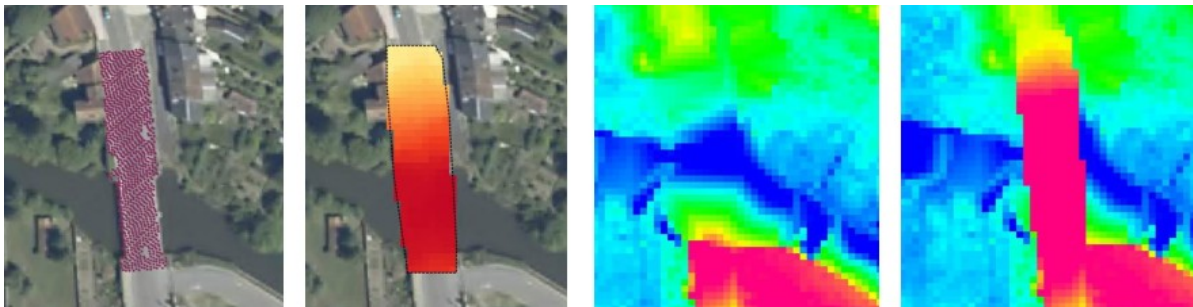


Figure 2: Exemple de traitement de MNT pour l’intégration des altitudes des tabliers de ponts

3. La génération HD : évaluation des impacts pour la cartographie de l’aléa inondation

3.1. Projet de couverture LIDAR HD et questionnement

Depuis 2021, l’IGN a lancé un nouveau programme de levés LIDAR de Haute Densité avec une cible d’acquisition de 10 points par mètre carré. Ce programme « d’une ampleur inédite » soutenu conjointement par le Ministère de l’Agriculture et le Ministère de l’Écologie a pour objectif d’assurer la couverture totale du territoire, ce qui doit permettre d’améliorer sensiblement la description de la topographie à l’échelle nationale et notamment en région de montagne. Par ailleurs, cette campagne vise à fournir une donnée globalement homogène, ce que peine à proposer le RGE Alti dont les données sources sont de précision variable. Les nouvelles données MNT issues de ces acquisitions ont vocation, d’ici 5 ans, à devenir la référence en matière de topographie et de représentation du sol nu.

La réalisation d’un tel projet dans un délai limité à 5 ans sur la France entière et les enjeux propres à chacun des contributeurs financiers au projet imposent de réaliser des acquisitions en hiver comme en été, contrairement aux préconisations faites par Laroche *et al.* (2014) sur la première génération de MNT LIDAR qui excluait la période végétative.

Pour bien comprendre les effets de la végétation sur la qualité de la donnée, il faut savoir qu’un faisceau lumineux LIDAR forme un cône qui est réfléchi totalement ou partiellement par les obstacles rencontrés. Une végétation développée peut donc intercepter la totalité du faisceau avant qu’il n’ait atteint le sol. L’impact de la saison d’acquisition sur la capacité à obtenir une représentation performante du sol avec le LIDAR HD doit donc être étudié, afin d’identifier les conséquences prévisibles sur l’aléa inondation. Ainsi, la DREAL Occitanie, la DREAL Centre-Val de Loire et leurs SPC se sont engagés fin 2022 en lien avec la DGPR et l’IGN à comparer cette nouvelle génération de MNT sur le secteur de la Garonne à proximité d’Agen avec le MNT LIDAR précédent [Hans et Escudier, 2023]. Le LIDAR HD a été acquis en août 2021 et le LIDAR hiver en 2010-2011. L’IGN a mis à disposition des dalles MNT à la résolution 50 cm et 1 m pour le LIDAR HD été. Par souci d’homogénéité avec le MNT LIDAR hiver, les travaux ont été conduits à la résolution 1 m. L’IGN envisage une diffusion des MNT aux résolutions 50 cm et 5 m. Ces écarts ne remettent toutefois pas en cause les constats présentés ci-après.

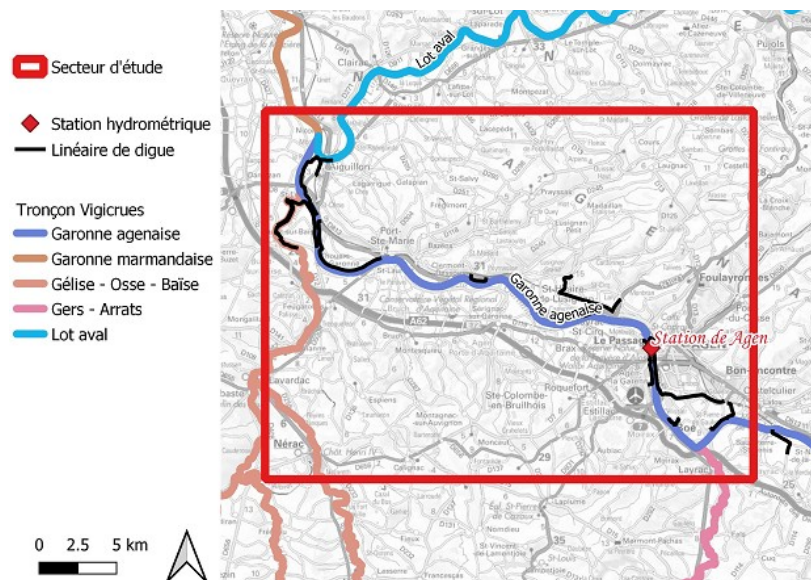


Figure 3: Carte de localisation du territoire d'étude - La Garonne agenaise (département 47)

3.2. Une densité plus importante mais une description du sol pas nécessairement améliorée

La densité plus importante du LIDAR HD permet de réaliser une moyenne des altitudes des points sol. Cela limite ainsi l’incertitude sur l’altitude résultante pour chaque pixel du MNT produit en comparaison d’une interpolation par triangulation de quelques points. Pour les pixels où il existe des points au sol, on peut donc s’attendre à obtenir une altitude plus représentative de la topographie avec le LIDAR HD qu’avec le LIDAR hiver.

Les MNT sont accompagnés de dalles raster précisant la distance de chaque pixel au point le plus proche. Pour les deux LIDAR étudiés, une grande majorité des pixels présentent des points au sol (80 % pour le LIDAR HD, 74 % pour le LIDAR hiver) ou une distance faible (pour les deux levés, 88 % des pixels ont un point sol en leur sein ou dans un pixel voisin). Par conséquent, on trouve logiquement que pour 69 % des pixels il n’y a pas de variation de la distance au point la plus proche. Pour 21 % des pixels, le LIDAR HD améliore la distance au point sol le plus proche (pour 13 %, l’amélioration est limitée à 1 m). Pour 10 % des pixels, le LIDAR HD dégrade la distance au point sol le plus proche (pour 6 %, la dégradation est limitée à 1 m). Ces dégradations se produisent localement, notamment dans des secteurs boisés (Figure 4).

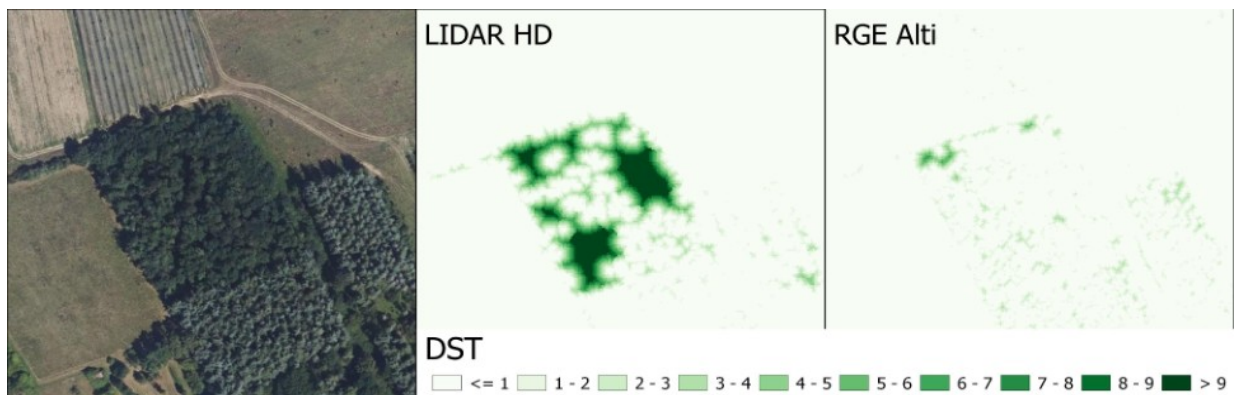


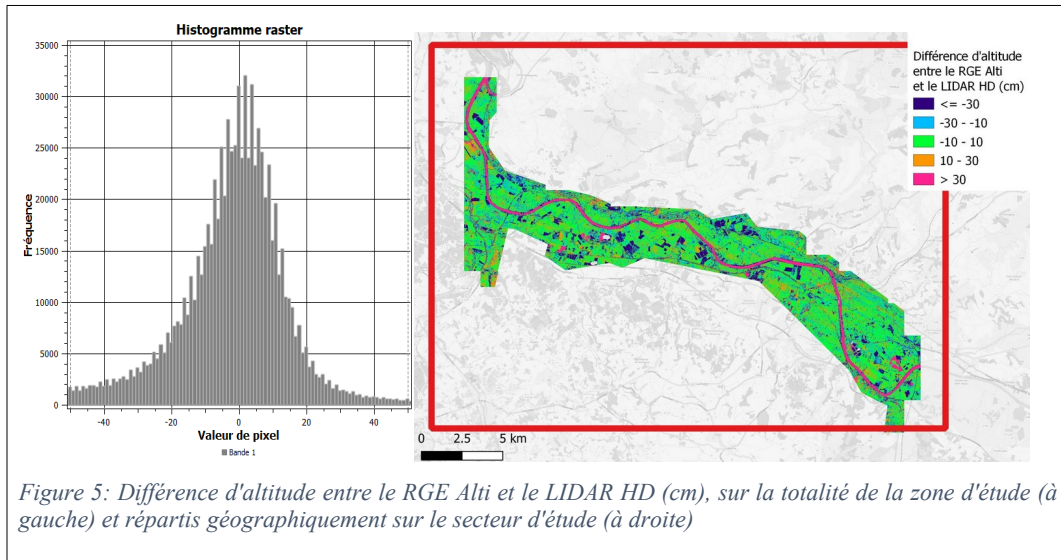
Figure 4: En présence de végétation dense, le LIDAR HD dégrade la distance au point sol le plus proche, nécessitant de recourir à l'interpolation pour calculer le MNT

3.3. Des impacts locaux de la végétation préjudiciables sur la description de la topographie

La comparaison des altitudes entre les deux MNT indique que la majorité des pixels ont un écart absolu inférieur à 20 cm, ce qui est cohérent avec la précision altimétrique attendue d'environ 10-15 cm du MNT LIDAR. Les écarts en altitude ne sont en revanche pas répartis également sur la zone d'étude.

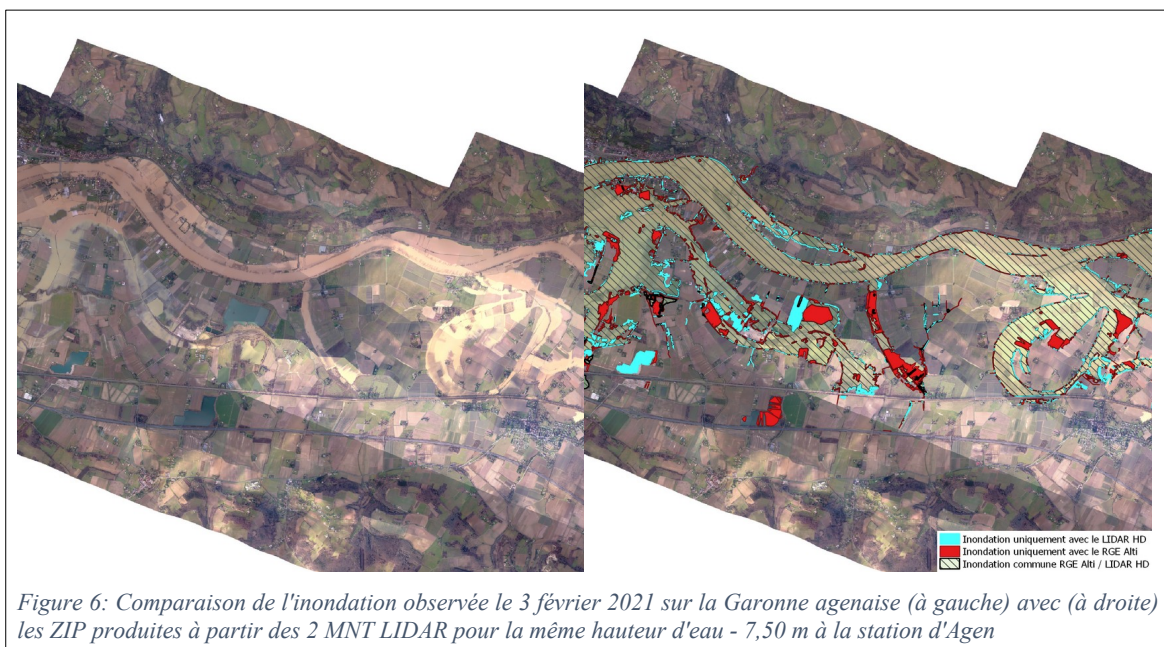
On observe ainsi que :

- le LIDAR HD est plus bas que le LIDAR hiver sur le linéaire de la Garonne avec une différence d'altitude supérieur à 30 cm : cette configuration traduit bien que le débit lors de l'été 2021 est plus faible que lors de l'hiver 2011
- de nombreuses zones clairement définies présentent des différences altimétriques marquées, où le LIDAR HD est notablement plus haut que le LIDAR hiver : ces zones, présentées en figure 5, marquent les difficultés du LIDAR HD été à traverser certaines cultures.



3.4. Des difficultés à pénétrer certains types de culture

Afin d'étudier l'impact du MNT LIDAR HD sur la cartographie de zones inondables, une production de zone d'inondation potentielle (ZIP) a été réalisée sur le secteur d'étude. La méthode mise en œuvre a consisté à calculer les hauteurs d'eau à partir d'un même modèle de surface en eau (MNSLE) disponible à la station d'Agen [DREAL Occitanie, 2022] et les MNT issus du RGE Alti et du LIDAR HD. Le secteur d'étude ayant pu faire l'objet d'une campagne de prises de vues aériennes acquises pour la crue du 3 février 2021 dans le cadre de la convention IGN - DGPR, ces images ont servi de données de validation des deux ZIP produites pour l'inondation correspondant à la hauteur d'eau de 7,50 m à la station d'Agen.



Les photographies aériennes de la crue de février 2021 montrent que la ZIP produite à partir de l’altimétrie du LIDAR hiver est correcte (hors secteurs de zones en eau pérenne). En revanche, certains secteurs observés comme inondés sur la prise de vue ne sont pas représentés dans la ZIP produite à partir du MNT LIDAR HD été (zones représentées en rouge sur la figure 6). Ce constat montre que l’altitude du LIDAR HD, sur ces secteurs particuliers, ne correspond pas à l’altitude du sol.

L’analyse des distances au point sol le plus proche (Figure 7) montre pourtant pour les deux LIDAR qu’il existe des points au sol.

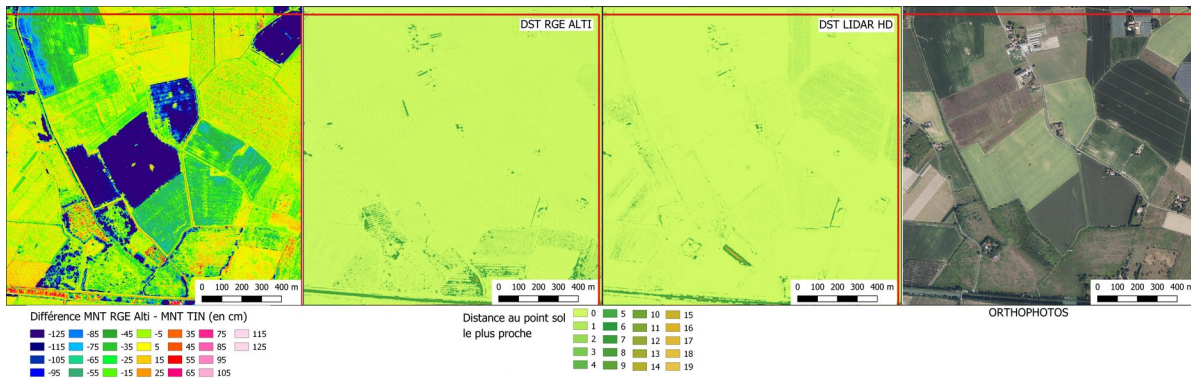


Figure 7: Certaines parcelles agricoles identifiables (corrélation entre les zones en bleu foncé sur l’image de gauche et l’image aérienne à droite) présentent des différences d’altitude conséquentes entre les deux MNT, alors que les distances au point sol le plus proche sont identiques

Sur l’une des parcelles identifiables (Figure 8), la visualisation du nuage de points permet d’identifier qu’il n’existe presque aucun point au sol. Le faisceau LIDAR acquis en été a donc été intégralement intercepté par la végétation existante en cette saison. On identifie alors deux écueils :

1. certains types de végétation interceptent totalement le faisceau LIDAR, ce qui peut se traduire par des zones de plusieurs hectares sans information sur le sol ;
2. la classification du nuage de point – encore en phase de développement par l’IGN au moment de l’expérimentation – n’est pas correcte, montrant les limites de l’algorithme utilisé dans ce type de configuration spécifique.

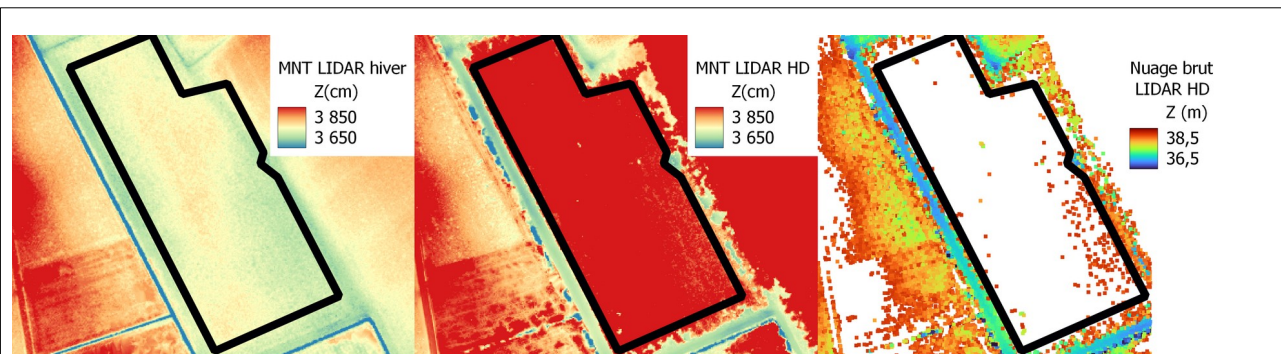


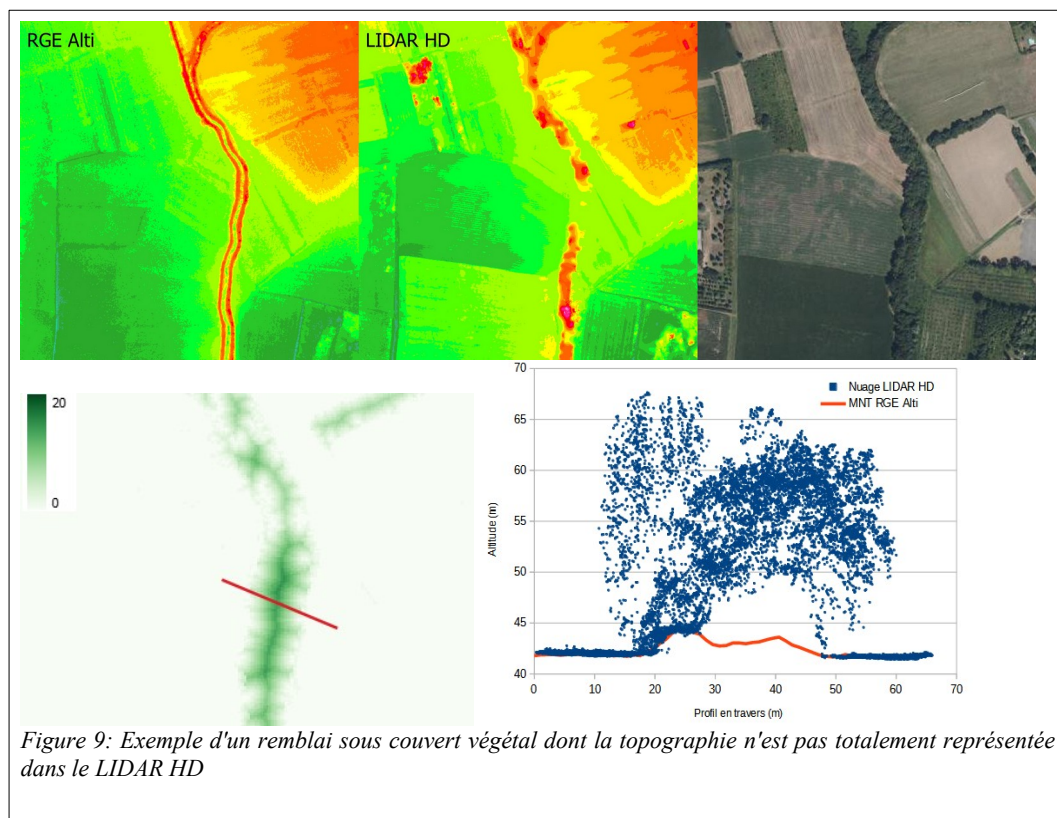
Figure 8: Comparaison des données altimétriques des MNT LIDAR hiver et LIDAR HD été et des points identifiés comme “sol” dans le nuage brut du LIDAR HD

Il en ressort ainsi une diminution notable de la qualité de l’information au regard de celle apportée par le LIDAR hiver. Si on extrapole ces résultats à l’ensemble de la zone d’étude, et que l’on considère que toutes les surfaces agricoles présentant une différence d’altitude d’un mètre et plus n’ont pas de points

au sol, les statistiques sur la distance au point sol le plus proche diminueraient légèrement pour le LIDAR HD, de 80 % à 77 % avec un point au sein du pixel, et de 88 % à 86 % avec un point au moins dans un pixel voisin.

3.5. Des ouvrages structurants potentiellement mal représentés

La végétation peut également masquer des éléments structurants de la zone inondable, tels que des remblais qui peuvent apparaître dans le MNT LIDAR HD été de manière déstructurée et non continue. La distance au point sol le plus proche est cohérente avec le nuage de points. Dans l'exemple ci-après (Figure 9), un remblai doublé d'environ 2 m de hauteur n'est ainsi pas identifié car il ne présente aucun point au sol. Dans cette configuration, la topographie rendue par le LIDAR HD peut poser des problèmes, notamment dans les études de modélisation et cartographie de zones inondables. Pour obtenir une bonne représentation de la topographie, il sera nécessaire d'engager des levés topographiques complémentaires, notamment sur les secteurs évoqués plus haut. Un traitement du MNT LIDAR HD sera alors indispensable pour intégrer les données complémentaires acquises. Aussi, dans le cadre de futures utilisations de cette donnée HD, il sera nécessaire de prendre en compte en amont de ces études cartographiques, le coût et le temps correspondants aux levés topographiques complémentaires.



4. Conclusions et perspectives

Les travaux menés sur la nouvelle génération de LIDAR HD sur le secteur de la Garonne agenaïse permettent d'établir plusieurs constats.

D’une part, la description du sol apparaît globalement légèrement améliorée par rapport à du LIDAR hiver basse densité, mais des dégradations majeures locales ont été identifiées, qui sont de nature à modifier sensiblement la cartographie de l’aléa inondation, sur des secteurs spécifiques (parcelles agricoles, remblai sous couvert végétal). Les acquisitions en périodes végétatives montrent en effet des limites claires avec certains types de végétation. Pour la cartographie d’inondation, il reste donc préférable d’utiliser l’information topographique acquise en période hivernale ou en période la plus proche d’une faible couverture végétale. Dans le cas d’une donnée topographique acquise en été, il conviendra également d’utiliser plus systématiquement la couche de distance afin d’identifier les zones d’incertitudes ou sur lesquelles une étude topographique complémentaire devra être menée afin de garantir une production de scénarios d’inondation les plus justes. A l’avenir, la valorisation des nuages de points des campagnes d’acquisition des LIDAR « inondations » de la DGPR acquis en hiver pourrait permettre d’ouvrir des études ou travaux de recherches sur les possibilités de compléter les MNT LIDAR HD été là où la représentation du sol est perfectible. La mise à disposition du nuage de points hivernal par l’IGN reste un préalable indispensable pour permettre à la communauté d’utilisateurs LIDAR d’engager des réflexions et travaux d’amélioration de la donnée LIDAR HD été.

D’autre part, l’étude menée a permis de montrer que sur les surfaces dégagées ou en présence d’un couvert végétal peu dense, le MNT résultant des levés LIDAR HD été a une qualité au moins équivalente au MNT issus du LIDAR hiver. Ainsi, sur les zones aujourd’hui non couvertes par des données LIDAR, le gain en précision sera très important par rapport aux données actuellement disponibles, dont la précision altimétrique est de l’ordre du mètre. De plus, sur les zones couvertes par des campagnes LIDAR antérieures, le LIDAR HD apportera une actualisation de la topographie, prenant en compte les nouveaux aménagements anthropiques. Ces données ouvrent donc des perspectives intéressantes, notamment pour le réseau de la prévision des crues, à l’heure où la vigilance pluie-inondation évolue à l’échelle infra-départementale et questionne la nécessité de développer des méthodes de modélisation des risques d’inondations à plus grande échelle.

Enfin, les développements observés ces dernières années sur les solutions SIG permettent aujourd’hui de manipuler facilement les nuages de points. La politique Opendata de l’IGN permet également aujourd’hui d’entrevoir des perspectives positives en matière d’exploitation des données brutes. Ainsi, par le biais de l’animation de la communauté d’utilisateurs, des réflexions pourraient être engagées sur des produits spécifiques dérivés de ces données haute densité. La caractérisation des structures infra-métriques, telles que les fossés drainant les plaines d’inondations ou encore les murets urbains jouant un rôle déterminant sur la propagation des inondations, l’amélioration de la description des lits mineurs, l’extraction de données topographiques propres aux ouvrages hydrauliques, sont notamment des champs d’action pour lesquels une nouvelle dynamique pourrait s’engager dans les prochaines années.

5. REFERENCES

Directive 2007/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2007 relative à l’évaluation et à la gestion des risques d’inondation. (2007). Journal Officiel de l’Union Européenne L 288, 6 novembre 2007. Consulté sur :
<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000523817>

- Laroche, C., *et al.*, 2014. *Utilisation des données LIDAR dans les études hydrauliques : outil à disposition et recommandations aux maîtres d'ouvrage*, Congrès SHF : " Grands Transitoires Hydrauliques", Nice, 11-13 juin 2014.
- Escudier *et al.* (2015). *De l'observation de la crue à la représentation de l'inondation : les apports de la cartographie numérique*, Poster présenté dans le cadre de l'édition 2015 des Assises Nationales des Risques Naturels , 22 et 23 mars 2015, Marseille.
- Pons, F. (2013, 2 mai) Notice de DICarto. Consultée sur : http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Notice_de_DICARTO
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Energie (2016) *Création de classes de hauteurs d'eau, Plugin CartoZI*, Notice utilisateurs. Consultée sur : <http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/CartoZI>
- Escudier *et al.* (2016), *et al.*, *Prévision des inondations : gestion de crise et partage de l'information des zones inondées*, La Houille blanche, 2016.
- Hans P.-A., Escudier A. (2023), *Étude comparative de l'apport des données LIDAR HD 2021 et LIDAR DGPR HIVER 2011-2019 - Travaux sur le secteur d'étude de la Garonne agenaie*, Rapport d'étude (32 p.)
- DREAL Occitanie (2022), *Cartographie de zones d'inondation potentielle en fonction des hauteurs à une échelle réglementaire sur la Garonne Marmandaise*. Rapport d'études réalisé par Hydrétudes (74 p .)