

Rapport d'études



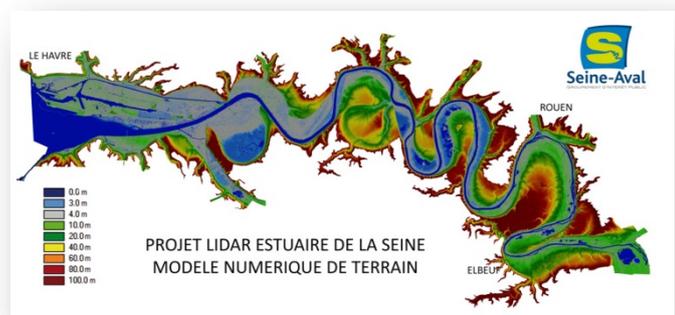
Projet

LIDAR Estuaire de la Seine

**Acquisition, contrôle qualité et
produits disponibles**

Juin 2013

Auteur : Nicolas Bacq



Contenu

1.	<i>Le projet LIDAR estuaire de la Seine</i>	3
2.	<i>La technologie LIDAR appliquée à l'estuaire de la Seine</i>	4
1.1.	Le système LIDAR	4
1.2.	Stratégie d'acquisition sur l'estuaire de la Seine	4
1.3.	Déroulement de l'acquisition	5
1.4.	Le traitement des données.....	7
2.	<i>Les données acquises et leur qualité</i>	8
2.1.	Semis de points acquis.....	8
2.2.	Discussion sur les résultats au regard des enjeux de l'acquisition	9
2.2.1.	Des niveaux d'eau les plus faibles possibles	9
1.1.1.	Une attention particulière aux zones de roselières	10
1.1.1.	Une précision suffisante pour caractériser les ouvrages de protection contre les inondations.	11
2.3.	Génération du MNT	12
2.4.	Orthophotographie 10 cm.....	13
2.5.	Contrôle qualité externe (Partenariat IGN)	13
3.	<i>Produits disponibles</i>	15
3.1.	Liste des produits	15
3.2.	Système de projection/altimétrie utilisé.....	15
3.3.	Identificateur des produits – dallage	15
4.	<i>Diffusion et utilisation des données par les acteurs de l'estuaire</i>	16
	<i>Table des figures</i>	17
	<i>ANNEXE 1 : Description détaillée des produits disponibles</i>	18

1. Le projet LIDAR estuaire de la Seine

La topographie sur le territoire de l'estuaire de la Seine et sa plaine alluviale faisait l'objet d'un déficit de connaissance. Effectivement, au regard des questionnements actuels en terme de restauration écologique et de risque inondation, la précision des données topographiques dans des environnements à faible relief doit être accrue pour traiter de manière pertinente ces problématiques. Le GIP Seine-Aval a souhaité combler ce déficit par l'acquisition d'un référentiel topographique haute-résolution avec l'objectif de le mobiliser en priorité pour 4 types d'applications :

- Amélioration des connaissances sur le fonctionnement des zones intertidales et zones humides de l'estuaire notamment en cartographiant précisément les limites de submersion en fonction de conditions hydrologiques variées.
- Caractérisation précise de la cote des ouvrages de protection contre les crues/inondations de la Seine et notamment des murets de protection situés au sommet des digues, dont la largeur est environ 20 cm. L'objectif était d'obtenir un tracé de l'ensemble des ouvrages avec une information sur leur altimétrie.
- Mise en œuvre d'une modélisation hydraulique 2D intégrant la plaine alluviale de l'estuaire, nécessitant une couverture topographique du territoire avec une précision permettant la représentation des obstacles hydrauliques (routes, remblais, digues, barrages...) dans une optique, entre autres de réflexion en matière de lutte contre les inondations et les submersions.
- Analyse de visibilité paysagère

De par la résolution et la précision nécessaire, les délais de réalisation, les coûts d'acquisition et les contraintes environnementales, une solution LIDAR¹ couplée avec prise de vue aérienne simultanée a été retenue par le GIP Seine-Aval. La prestation d'acquisition et de traitement des données a été confiée à l'entreprise GEOPHENIX. L'acquisition s'est déroulée sur 2010-2011 et la livraison définitive des données début 2013.

Les données acquises permettent une valorisation bien au-delà des thématiques précitées, ce qui est favorisé par une libre mise à disposition des données par le GIP Seine-Aval. Un partenariat avec L'IGN a été mis en place permettant de bénéficier d'une expertise pour le contrôle qualité des données et d'une visibilité accrue en terme de diffusion des données, celles-ci constituant in fine le socle du RGE – BD ALTI sur le territoire estuarien.

Le présent rapport décrit les moyens et méthodes mis en œuvre pour constituer ce référentiel. Il présente les résultats obtenus, discute de certains éléments méthodologiques intéressants pour la conduite de ce type de projet et décrit de manière détaillée les produits disponibles.

¹LIDAR, acronyme de l'expression en [langue anglaise](#) « light detection and ranging »

2. La technologie LIDAR appliquée à l'estuaire de la Seine

1.1. Le système LIDAR

La technologie LIDAR se base sur la télémétrie laser couplée à un système de géoréférencement terrestre. Elle a été développée dans les années 1990 afin de permettre des acquisitions aéroportées (avion ou hélicoptère) de données altimétriques de la surface terrestre. La mesure du temps entre l'émission d'un signal laser émis dans le domaine du proche infrarouge et sa réflexion sur la surface terrestre, permet de produire des données tridimensionnelles géoréférencées. Ces informations renseignent sur la topographie du terrain et des éléments du sursol comme le couvert de végétation ou encore le bâti avec une précision accrue.

Le système, exploité de manière courante maintenant, permet d'enregistrer plusieurs retours (ou échos) à chaque impulsion du laser, localisant dans l'espace des obstacles au rayonnement.

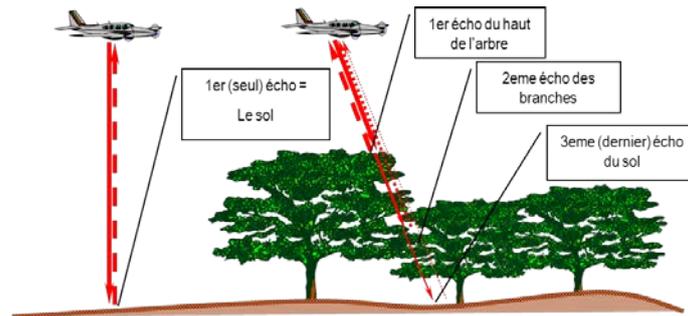


Figure 1: Illustration de la mise en œuvre d'un LIDAR aéroporté

Le système permet ainsi de constituer un nuage de points bruts de la surface balayée, plus ou moins dense selon la cadence d'émission des impulsions du laser.

Outre les informations de géoréférencement, le système LIDAR enregistre l'intensité du retour du signal laser et apporte ainsi une information complémentaire dépendant de la nature physique de la surface balayée. L'exploitation de cette donnée est prometteuse, mais est encore peu développée.

De par la nature du signal, ce système ne permet pas d'obtenir de données dans les environnements aquatiques, ce qui constitue une contrainte importante pour l'étude de la topographie du littoral, des estuaires et zones humides (marais, plan d'eau). Dans certains environnements littoraux, des systèmes spécifiques sont mis en œuvre (les Lidar bathymétriques) mais ne sont pas pertinents en milieux estuariens en raison des fortes turbidités.

1.2. Stratégie d'acquisition sur l'estuaire de la Seine

Le système LIDAR était déjà bien connu sur l'estuaire de la Seine par les Grands Ports Maritimes qui ont mis en œuvre cette technologie sur le secteur de l'estuaire en aval de Tancarville dès le début des années 2000. Le levé de l'ensemble de l'estuaire jusqu'au barrage de Poses a nécessité une stratégie adaptées au système estuarien.

Le territoire à lever couvre une surface totale d'environ 1100 Km². Il est constitué de zones identifiées à enjeux au regard des objectifs d'utilisation des données

- Les zones de balancement des marées, nécessitant un survol dans des conditions favorisant les niveaux d'eau faibles ;
- Les zones sujettes à une végétation dense et basse comme les grands secteurs de roselières à l'embouchure de l'estuaire. Ce type d'environnement est contraignant au regard du système d'acquisition (si la végétation est trop dense, le laser ne traverse pas) ne permettant pas d'obtenir la topographie du terrain.
- Les berges équipées de murets anti-inondation, nécessitant une précision d'acquisition accrue pour définir leur cote.

L'organisation saisonnière des modes d'acquisition est un facteur très important. Le développement de la végétation à partir d'avril et les cultures estivales sont une des contraintes les plus importantes pour obtenir une information précise de la topographie du terrain dans les zones semi-naturelles et naturelles. A l'inverse, afin de couvrir les zones du fleuve qui ne découvrent qu'en période d'étiage, il vaut mieux privilégier la période estivale. Ensuite, les cycles de marées doivent être pris en compte afin de définir les périodes où les basses mers sont les plus basses.

Pour répondre aux objectifs, en tenant compte au mieux des différentes contraintes, la stratégie s'est appuyée sur 3 modes d'acquisition :

- Un mode nommé « lit majeur » :
 - o effectué par avion (altitude de 1500 m),
 - o hors période végétative,
 - o sans contrainte hydrologique,
 - o avec une densité de 3 points/m² ;
- Un mode nommé « embouchure » :
 - o zones riveraines de la Seine en aval du pont de Tancarville,
 - o effectué par avion (altitude de 1500 m),
 - o hors période végétative,
 - o à marée basse de fort coefficient,
 - o avec un doublement des lignes de vol sur les secteurs de roselière pour atteindre une densité de 6 points points/m² (l'hypothèse sous-jacente est que l'augmentation de la densité de points optimise le passage à travers la végétation dense pour atteindre le sol) ;
- Un mode nommé « zones riveraines » :
 - o zones riveraines de la Seine en amont du pont de Tancarville,
 - o effectué par hélicoptère (altitude de 600m),
 - o en période d'étiage
 - o à marée basse (survol suit les moments de marée basse de l'aval vers l'amont) de faible coef. (en amont de Duclair, les basses mers sont plus basses par faible coefficient)
 - o avec une densité de 15 points/m² pour appréhender les murets anti-inondation et la végétation dense de bord de Seine.

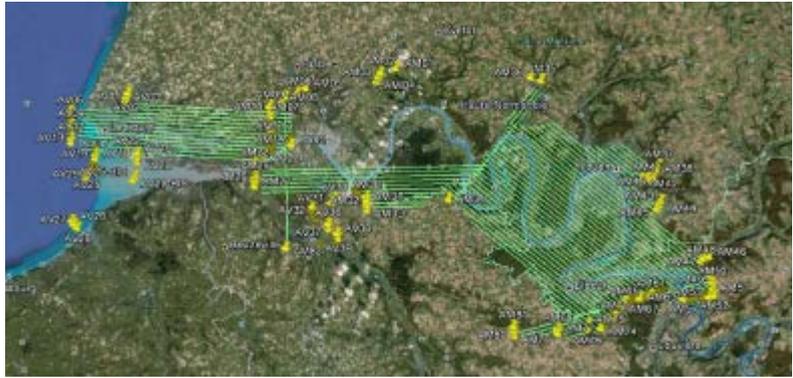
L'ensemble du survol LIDAR devait être accompagné d'une acquisition photo. Toutefois, une partie de cet objectif n'a pu être atteint.

1.3.Déroulement de l'acquisition

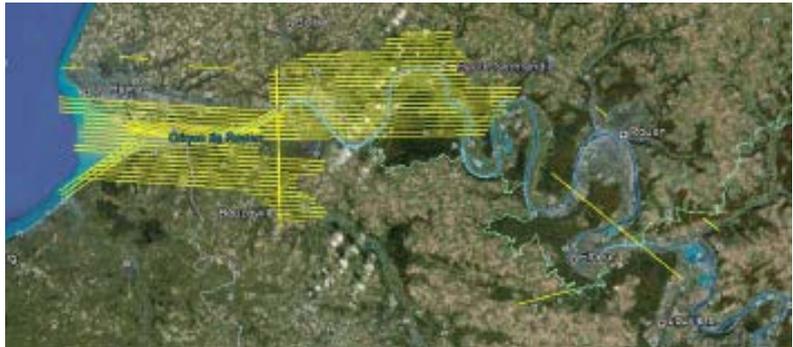
Ayant subi un certain nombre de contraintes (panne matériel, mauvaises conditions météorologiques,...), la prestation n'a pu être réalisée sur une seule année comme souhaité à l'origine.

Ainsi, concernant les modes d'acquisition « lit majeur » et « embouchure », l'acquisition s'est déroulée sur 6 missions. La photographie acquise lors de ces missions n'a pu être exploitée en raison d'une défaillance de réglage.

Mission 1 à 4 Avion
entre le 6 avril et le 10 avril 2010
78 axes de vol

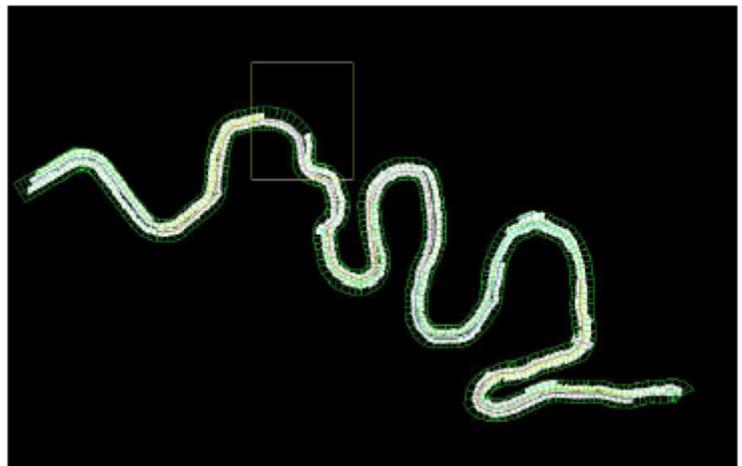


Mission 5 et 6 Avion
les 23 et 24 mars 2011
82 axes de vol



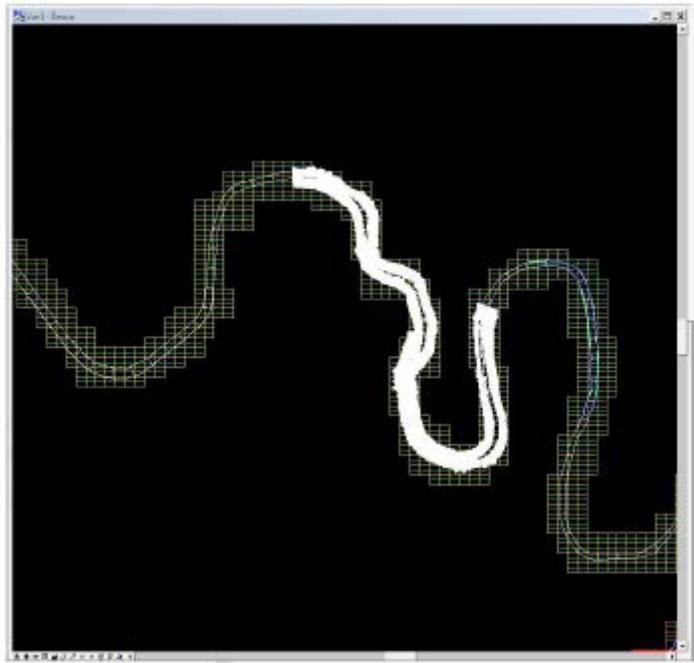
Concernant l'acquisition « zones riveraines », l'acquisition s'est également déroulée en 2 temps en raison d'une panne de la caméra numérique lors de la première mission. Les données LIDAR de la seconde mission ont été intégrées au projet, complétées pour quelques secteurs défailant par les données de la première mission.

Mission 2 Helico
du 31 aout au 02 septembre 2010 (LIDAR + photo)
25 axes de vol, 12 heures d'acquisition



Acquisition intégrée au projet avec quelques trous complétés par l'acquisition de juillet (cf ci-après)

Mission 1 Helico
les 20 et 22 juillet 2010 (LIDAR mais pas de photo)



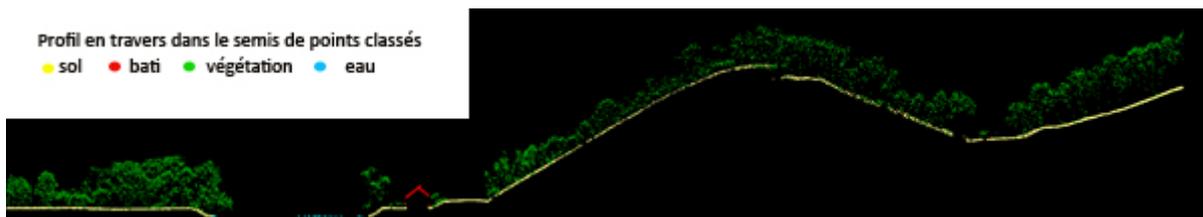
1.4. Le traitement des données

Les données LIDAR acquises sont stockées au format binaire « .las », permettant une optimisation du volume de données important (coordonnées spatiales, intensité de retour, angle d'incidence, bande de vol...) au regard des densités de points. Après les opérations visant à calculer la position de chaque point, le nuage de points fait l'objet d'une classification.

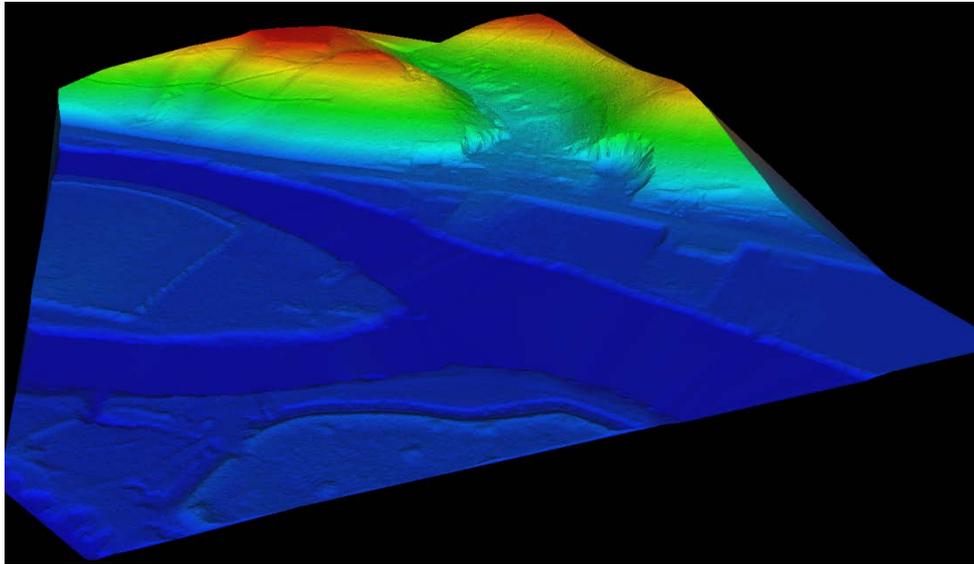


Comme illustré sur les figures ci-contre et ci-dessous, cette opération permet d'attribuer à chaque écho du laser sa nature : sol, végétation, bâtiment, eau, pont... Cette classification permettra notamment :

- de filtrer le sursol du sol pour générer les modèles numériques de terrain (MNT)
- d'analyser de manière distincte les hauteurs de végétation ou de bâtiment



Vue en profil du semis de point



Vue 3D du MNT

Figure 2 : Illustrations du principe de classification des échos laser et vue en perspective du MNT

Dans le cadre de ce projet, les différentes étapes permettant d'aboutir à la classification des échos sont les suivantes :

- ⇒ une première classification automatique pour dissocier le sol du sursol (utilisation du logiciel TerraScan)
- ⇒ Une fois la classification automatisée effectuée sur l'ensemble de la zone du projet, les éléments suivants sont contrôlés manuellement :
 - Sol manquant aux ruptures de pente
 - Correction des nuages de points aberrants.
 - Elimination de la végétation basse.
 - Classification des talus/obstacles
- ⇒ La classification du bâti, de la végétation, de l'eau, du mobilier urbain (automatique puis manuelle)
- ⇒ Un contrôle de la classification par lasergrammétrie (procédé permettant une visualisation stéréoscopique du nuage de points)

2. Les données acquises et leur qualité

2.1. Semis de points acquis

L'emprise d'acquisition des données couvre une partie plus importante que l'emprise contractualisée avec le bureau d'études. Toutefois, la classification des échos laser en dehors de l'emprise contractualisée n'a fait l'objet que d'une procédure de classification automatique et n'a pas fait l'objet d'un contrôle qualité externe.

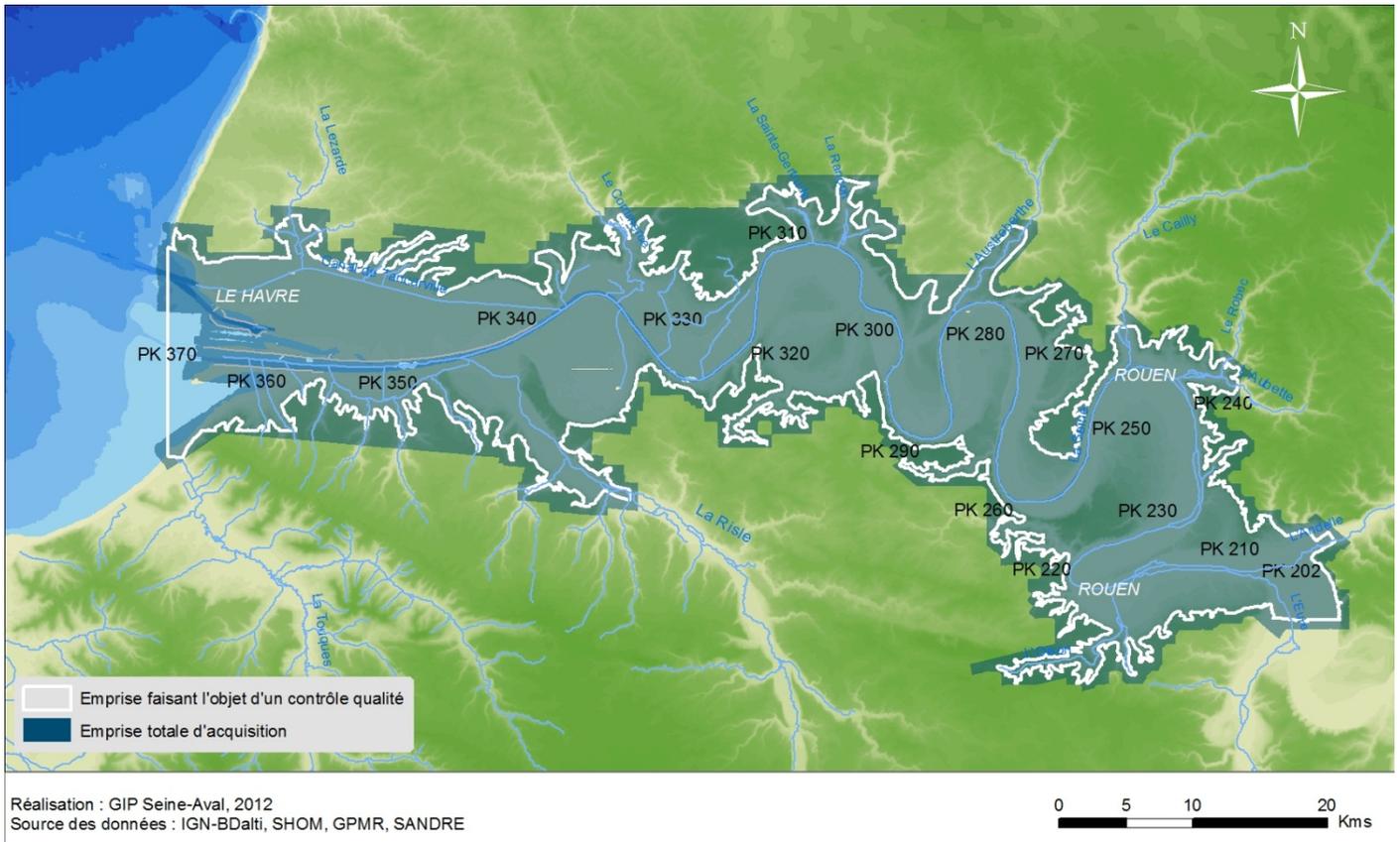


Figure 3 : Carte de l’emprise spatiale des données acquises.

L’acquisition représente **10 626 003 011 échos laser** sur l’ensemble de la zone ayant fait l’objet du contrôle qualité. Cela représente en moyenne environ 10 échos laser/m².

La classification est dominée par la végétation et le sol.

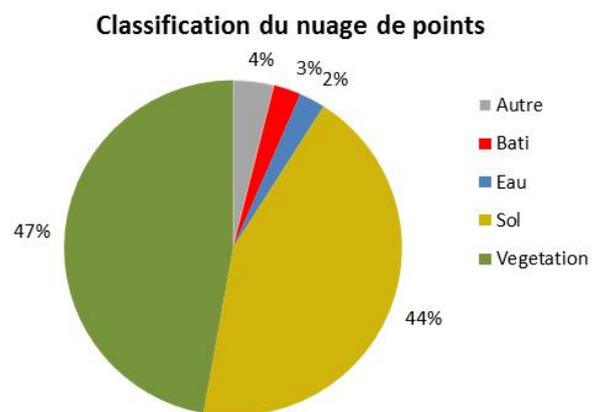


Figure 4: répartition des échos selon les principales classes

2.2. Discussion sur les résultats au regard des enjeux de l’acquisition

Au regard des objectifs d’utilisation des données Lidar sur l’estuaire de la Seine, les enjeux suivants avaient été identifiés en terme d’acquisition :

2.2.1. Des niveaux d’eau les plus faibles possibles

La stratégie d’acquisition retenue a globalement permis de bien appréhender cet enjeu. Le tableau suivant montre, au niveau de chaque marégraphe du Port de Rouen, les différences entre la cote des plus basses mers théoriques (source : Annuaire des marées, GPMR) et la cote la plus basse acquise lors du levé Lidar au niveau du marégraphe.

Marégraphe	PK	Cotes plus basses mer théoriques (CMH)*	Cotes basse acquisition (CMH)	différence en m
Balise A	364	0.8	1	0.2
Honfleur	356	1.25	1.7	0.45
Fatouville	350	1.4	1.7	0.3
Tancarville	338	2	1.8	-0.2
Saint-Leonard	330	2.5	2.8	0.3
Aizier	323	2.9	4.4	1.5
Vatteville	317	3.4	4.5	1.1
Caudebec	310	3.6	4.1	0.5
Heurteauville	298	3.8	3.8	0
Mesnil/Jumieges	286	4.3	4.1	-0.2
Duclair	278	4.3	4	-0.3
Val des leux	265	4.4	4.3	-0.1
La Bouille	260	4.4	4.2	-0.2
Petit-Couronne	252	4.4	4.3	-0.1
Rouen	244	4.5	4.2	-0.3
Oissel	230	5	5	0
Elbeuf	219	5.7	5.7	0

Tableau 1: Analyse des cotes levées lors de l'acquisition au regard des cotes de basses mer théoriques.

Le secteur entre Aizier et Caudebec a fait l'objet d'une défaillance dans l'acquisition, en raison d'un décalage temporel entre le passage de l'hélicoptère et le moment de la basse mer. Ainsi, on y observe une différence de plus de 50 cm entre les basses mers théoriques et la cote levée.

A l'inverse, une majeure partie du secteur a bénéficié de conditions très favorables en termes de niveaux d'eau étant donné que les cotes levées sont inférieures aux cotes théoriques des plus basses mers qui ne tiennent pas compte de conditions extrêmes (très bas débit ou forte décote).

2.2.2. Une attention particulière aux zones de roselières

Le secteur de l'embouchure de l'estuaire a fait l'objet d'une attention particulière en raison de la présence de grandes zones de végétation haute et dense de type roselière. Des précédents retours d'expérience d'acquisition de données Lidar dans ce secteur avait mis en évidence des anomalies de topographie importantes en raison de la non-prise en compte de cet élément dans la stratégie d'acquisition. Dans le cadre du présent projet, une densité de points plus importante a été acquise dans le but d'augmenter les chances de pénétration du laser au travers cette végétation.

Les résultats apparaissent satisfaisants : l'analyse de la classification des points dans ce secteur met en évidence un bon filtrage de la végétation (voir Figure 5). La précision altimétrique du MNT dans ce secteur n'a toutefois pas fait l'objet d'une analyse spécifique et il n'est donc pas possible d'indiquer l'incertitude altimétrique sur ce type de terrain. Cette incertitude sera dans tous les cas plus importante que sur sol nu.

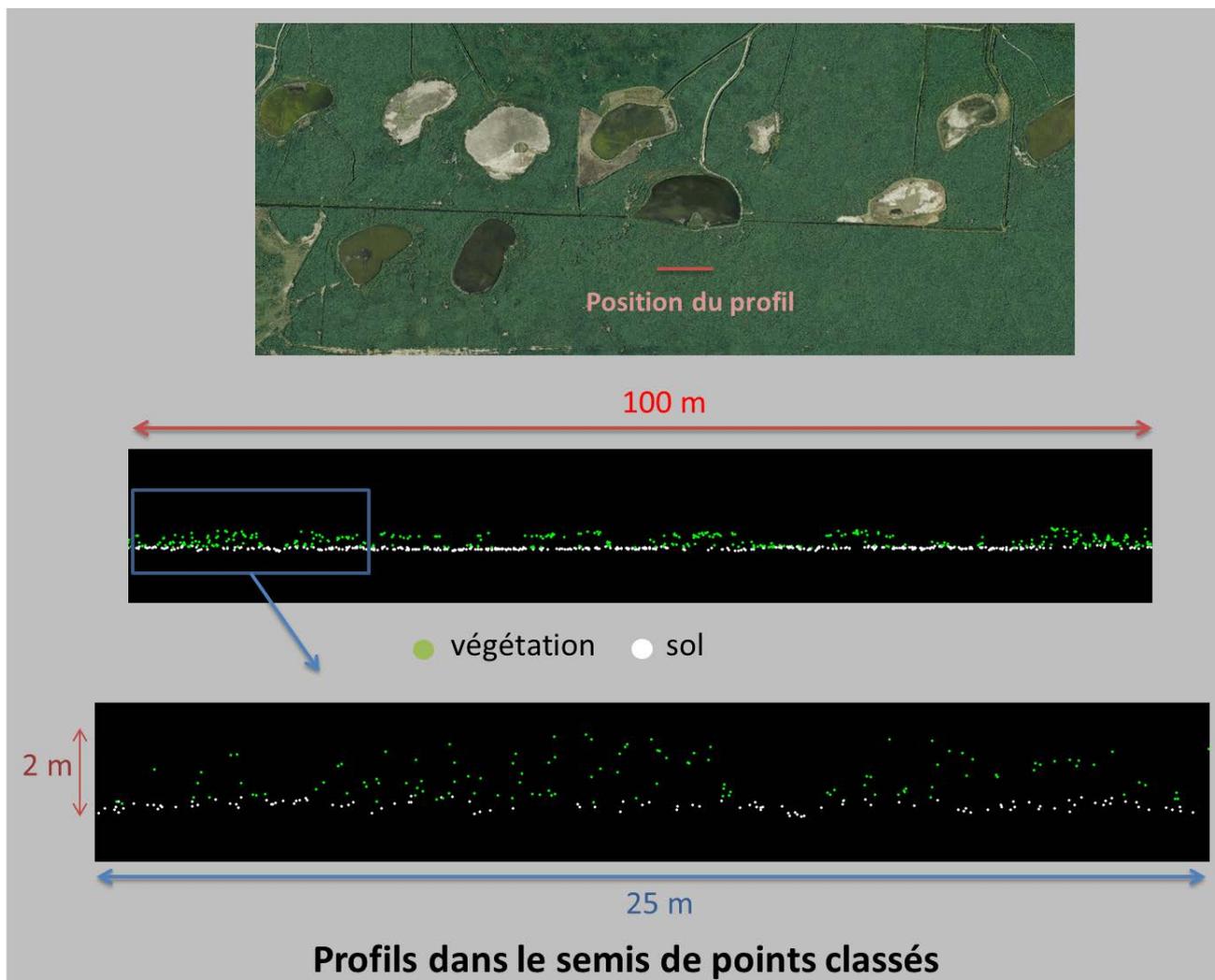


Figure 5: Illustration de classification de la végétation en secteur de roselière.

2.2.3. Une précision suffisante pour caractériser les ouvrages de protection contre les inondations.

Le mode d'acquisition « zone riveraine » a été optimisé pour tenter de rendre compte de la topographie des ouvrages de protection contre les crues en bord de Seine. Un semis de 15 points/m² a été acquis et des traitements spécifiques réalisés pour atteindre cet objectif :

- Le classement des échos laser sur les murets dans une classe spécifique, à partir d'un inventaire des ouvrages fournis par le GIP Seine-Aval.
- La génération d'un MNT à un pas de 20cm sur les berges de Seine en conservant les échos murets.
- La digitalisation d'un linéaire de muret sur le MNT 20 cm afin d'en attribuer une cote par segment.

Si cette stratégie a permis de bien identifier et positionner ces ouvrages (voir Figure 6), la cote attribuée à chaque segment possède encore une incertitude non négligeable au regard de l'importance de cette information en terme de gestion des risques. L'information produite ne remplace donc pas la nécessité pour le gestionnaire d'ouvrage de réaliser un levé par géomètre.

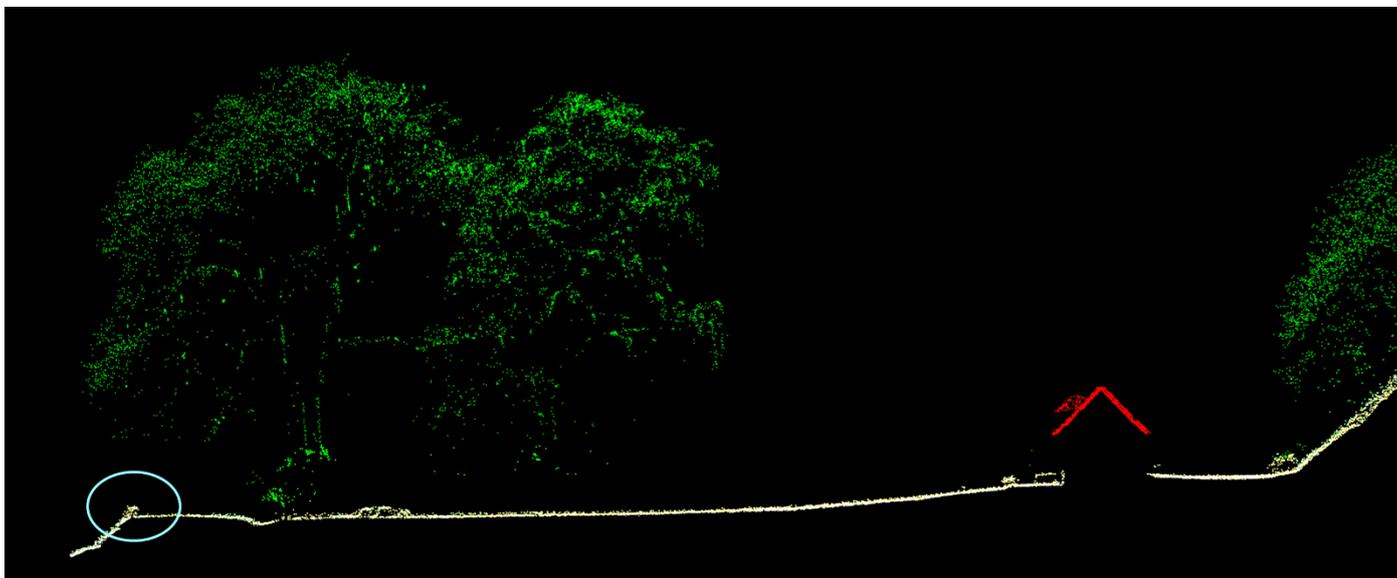


Figure 6 : profil dans le semis de point mettant en évidence la position d'un muret anti-inondation

2.3.Génération du MNT

Le filtrage du sursol a permis la génération du modèle numérique de terrain sur l'ensemble du secteur d'étude.

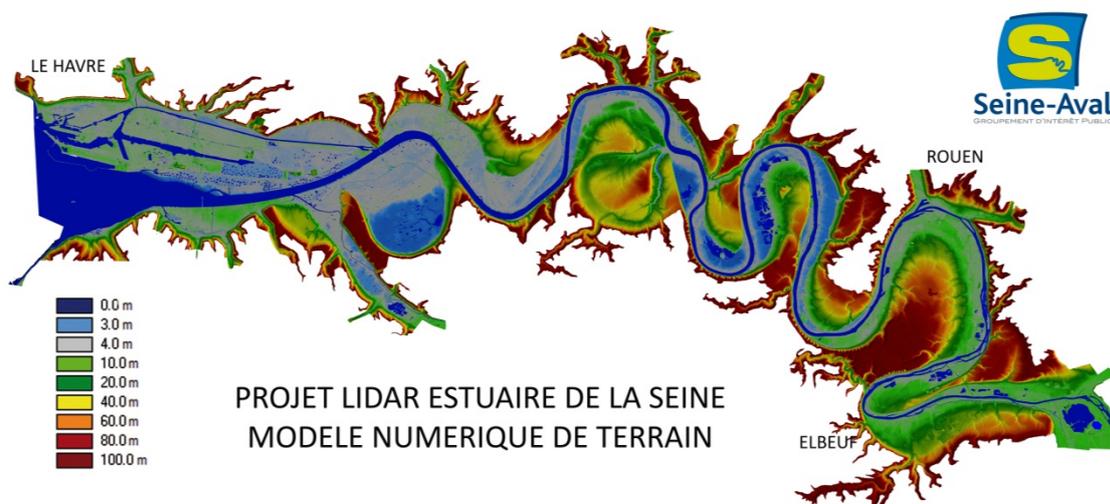


Figure 7 : Modèle numérique de terrain sur l'ensemble du secteur d'étude

2.4. Orthophotographie 10 cm

Le mode d'acquisition « zone riveraine » a permis, en complément du levé LIDAR, l'acquisition d'une orthophotographie à marée basse (voir § 2.2.1) de résolution 10 cm. Cette photo couvre donc les berges de la Seine depuis le barrage de Poses jusqu'au pont de Tancarville. Elle apparaît comme un support pertinent pour la caractérisation des zones riveraines de la Seine (voir Figure 8).

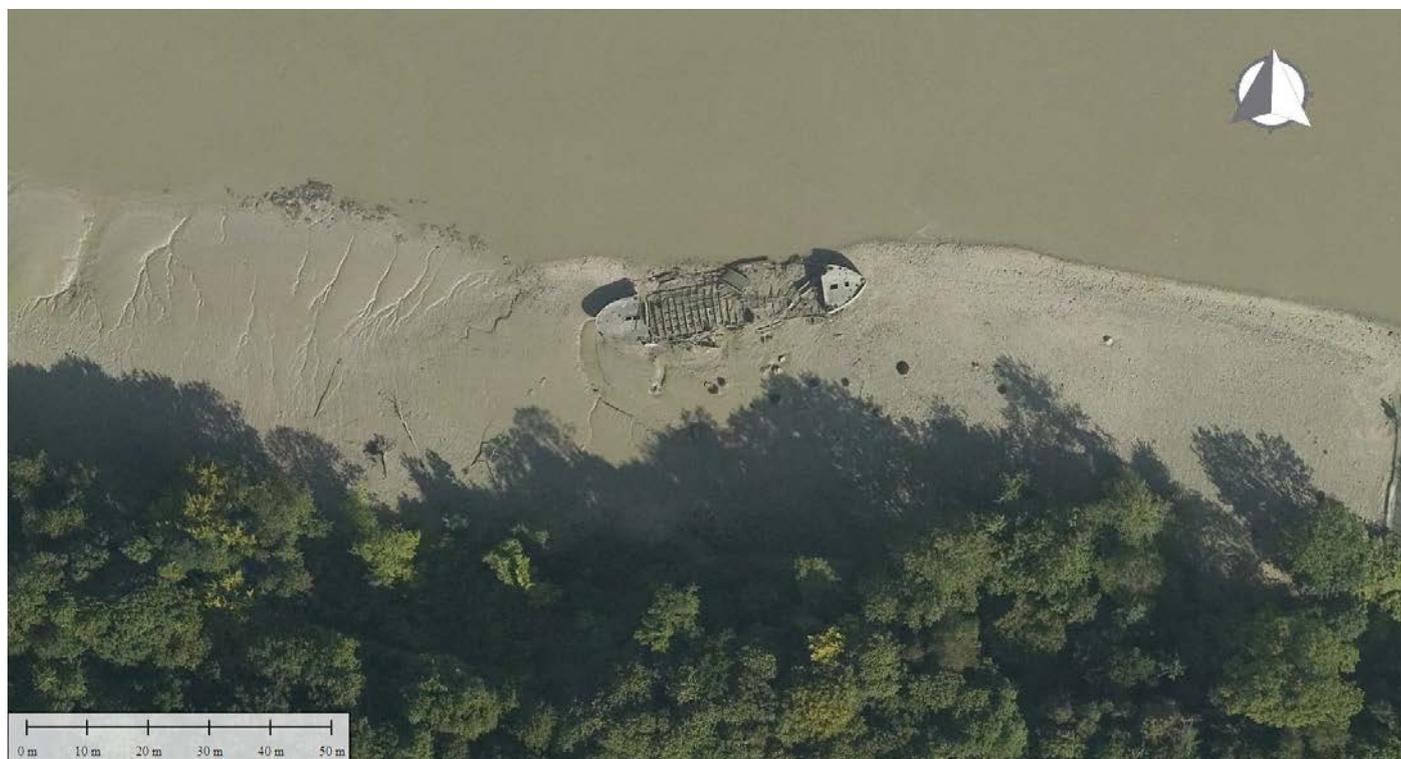


Figure 8 : Illustration de la précision de l'ortho-photographie sur le secteur de Vieux-Port

2.5. Contrôle qualité externe (Partenariat IGN)

L'ensemble des données a été livré par le bureau d'études au premier trimestre 2012, permettant de lancer la phase de contrôle qualité externe mobilisant l'expertise de l'IGN.

L'IGN est en charge du développement à l'échelle nationale du Référentiel à Grande Échelle (RGE®) qui est constitué d'orthophotographies, des données topographiques, des adresses et du parcellaire. Dans ce contexte, un ambitieux programme de réfection complète de l'altimétrie a été initié en 2009. Sur les zones inondables et littorales, des besoins spécifiques liés à la mise en œuvre de la directive Inondations et aux problématiques d'aménagement et de gestion des risques sur le littoral ont été identifiés. Ils requièrent une précision plus grande, de l'ordre de 20 cm, qui sera obtenue par levés LIDAR aériens. Dans ce contexte, L'IGN s'est donc rapproché du GIP Seine-Aval afin de déterminer les modalités d'intégration des données issues du projet « LIDAR estuaire de la Seine » dans la composante altimétrique du RGE. Ainsi, un partenariat a été mis en place pour favoriser la mise à disposition des données à l'IGN, le GIP bénéficiant en retour de l'expertise de l'IGN pour réaliser le contrôle qualité des données



Le contrôle réalisé consiste à d'une part vérifier la précision planimétrique et altimétrique du MNT et d'autre part la pertinence de la classification des échos laser.

Le contrôle de la précision du MNT a nécessité une acquisition de données terrain sous forme d'une trajectographie par GPS qui a été réalisée du 15 au 17 octobre 2012 et le 5 avril 2012. Deux types de points ont été mesurés à l'aide d'un système GPS Leica :

- ⇒ des points automatiques en trajectographie, avec l'antenne sur le toit du véhicule, paramétré à 1 point par seconde,
- ⇒ des points en lever manuels : soit des terrains de sport plats, soit des éléments caractéristiques du relief.

Les mesures ont été effectuées avec le module temps réel Teria suivant l'itinéraire décrit en vert sur l'extrait de carte ci-dessous.

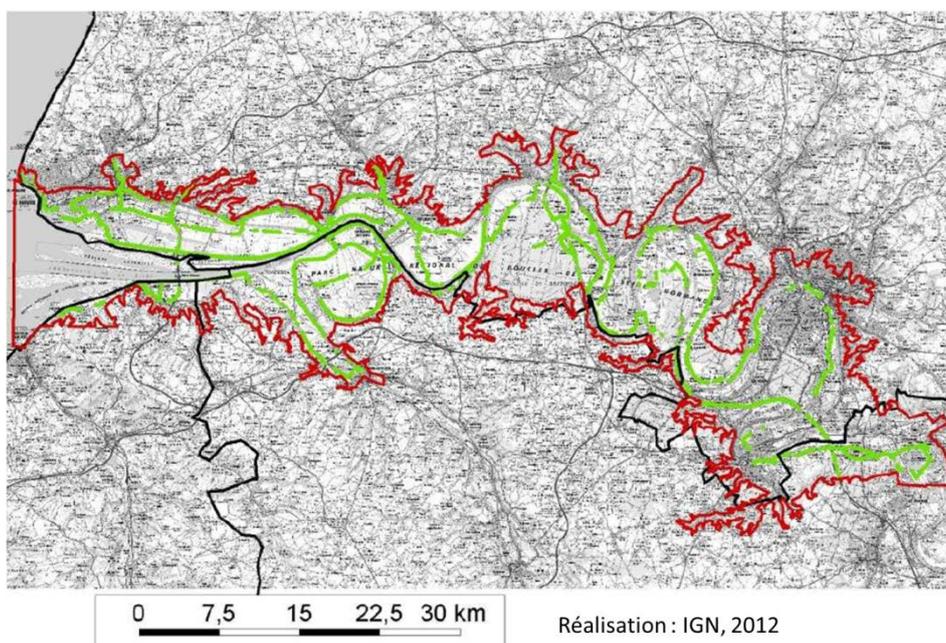


Figure 9: Itinéraire de contrôle terrain

La comparaison de détails planimétriques levés par GPS RTK permet l'évaluation de la précision du positionnement en X et Y du MNT.

Les résultats de ce contrôle sont présentés de manière distincte pour chaque année d'acquisition LiDAR :

Source : IGN, 2012	EMQ* 2010 (m)	EMQ* 2011 (m)
Résultat de la trajectographie, ΔZ	0.063	0.062
Résultat mesure sur terrain de foot, ΔZ	0.042	0.025
Précision planimétrique, ΔXY	0.42	0.37

*EMQ = erreur quadratique moyenne

Dans les secteurs de recoupement entre les 2 dates d'acquisition, une marche entre les MNT était visible et a été lissée par le prestataire.

La pertinence de la classification des points a été analysée par l'IGN au regard des critères définis pour l'intégration des données dans le RGE, ce qui ne correspond pas aux spécifiés techniques du cahier des charges initial du projet LIDAR Estuaire de la Seine. Ainsi, un certain nombre d'anomalies identifiées n'ont pas été considérées pour la reprise des données après contrôle qualité. Les anomalies concernant la végétation (114), les ponts (70), les berges (23), les bâtiments (12) identifiées par l'IGN ont été reprises par le prestataire.

3. Produits disponibles

3.1. Liste des produits

L'ensemble des produits livrés est listé dans la Figure 10. La description des produits est détaillée en annexe 1.

PRODUITS	FORMAT	WGS84	LAMBERT 93	CC50
		IGN69	IGN69	CMH
		AVION + HELICO	AVION + HELICO	AVION + HELICO
Produit-1 plan de vol	Shape			
Produit-4 semis de points brut classés	LAS			
	XYZ +			
Produit-5 semis de points MNE	LAS			
	XYZ			
Produit-6 Semis de points MNT	LAS			
	XYZ			
Produit-7 GRID MNE (1m)	GRD Surfer ASCII			
Produit-8 GRID MNT (1m) - Interpolation 500m	GRD Surfer ASCII			
	GRD MNT (1m) - Interpolation 5m	GRD Surfer ASCII		
Produit 21 GRID MNT (20 cm) - Après classification Muret	GRD Surfer ASCII			
Produit-11 GRID MNT (5m)	GRD Surfer ASCII			
Produit-12 orthophoto	Tiff et ECW			
Produit-14 couche SIG de protection contre les crues	Shape			
	DXF			
Produit-15 semis de point végétation	LAS			
	XYZ			
Produit-16 Semis de point bati	LAS			
	XYZ			
Produit-19 MKP	LAS			

Figure 10 - Liste des produits livrés

3.2. Système de projection/altimétrique utilisé

Les systèmes de projection utilisés lors des différentes étapes du projet sont les suivants :

- **WGS84** en coordonnées géographiques (latitude et longitude) ou coordonnées planes suivant la projection UTM31N,
- **RGF93** en coordonnées planes suivant la projection **Lambert 93** avec les altitudes en **IGN69**,
- **RGF93** en coordonnées planes suivant la projection **CC50** avec les altitudes en **CMH**.

La transformation entre ces systèmes de coordonnées planes est directe. Elle ne nécessite pas d'interpolation. Il n'y a donc de perte de précision lors des transformations utilisées.

La transformation de la composante altitude a été réalisée à partir de la grille **RAF09** publié par l'IGN. Cette grille permet la transformation des hauteurs ellipsoïdales données par le GPS embarqué vers le système altimétrique IGN 69. La précision de cette transformation est de 1 à 2 cm.

La transformation en altitude CMH est réalisée avec la formule suivante :

- Altitude CMH = Altitude IGN69 + 4.38 m.

3.3. Identificateur des produits - dallage

Les produits LiDAR sont livrés selon un dallage kilométrique (1 km x 1km). Un tableau d'assemblage au format Shape a été fourni pour facilement identifier les dalles/ortho utiles.

4. Diffusion et utilisation des données par les acteurs de l'estuaire

Si les livraisons définitives de certains produits n'ont été opérées qu'en avril 2013, de nombreuses études ont pu bénéficier des livraisons intermédiaires. Un inventaire des données diffusées par le GIP Seine-Aval permet de dénombrer **47 études** ayant bénéficié de ce jeu de données au 30 juin 2013. La répartition de l'utilisation de ces données par grands domaines d'étude est illustrée dans la Figure 11.

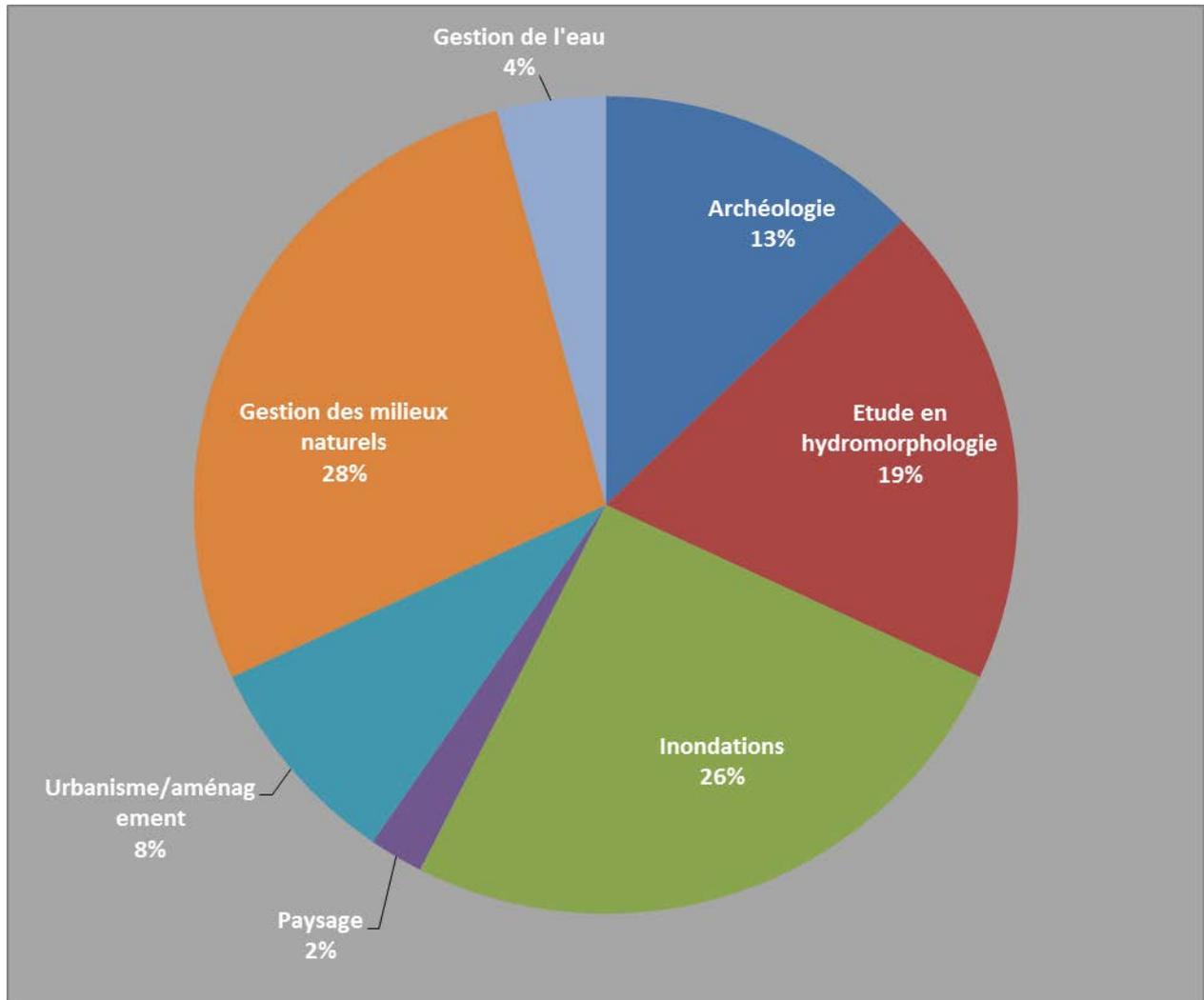


Figure 11 : Répartition de l'utilisation des données par grands domaines d'étude

Table des figures

<i>Figure 1: Illustration de la mise en œuvre d'un LIDAR aéroporté</i>	4
<i>Figure 2 : Illustrations du principe de classification des échos laser et vue en perspective du MNT</i>	8
<i>Figure 3 : Carte de l'emprise spatiale des données acquises.</i>	9
<i>Figure 4: répartition des échos selon les principales classes</i>	9
<i>Figure 5: Illustration de classification de la végétation en secteur de roselière.</i>	11
<i>Figure 6 : profil dans le semis de point mettant en évidence la position d'un muret anti-inondation</i>	12
<i>Figure 7 : Modèle numérique de terrain sur l'ensemble du secteur d'étude</i>	12
<i>Figure 8 : Illustration de la précision de l'ortho-photographie sur le secteur de Vieux-Port</i>	13
<i>Figure 9: Itinéraire de contrôle terrain</i>	14
<i>Figure 10 - Liste des produits livrés</i>	15
<i>Figure 11 : Répartition de l'utilisation des données par grands domaines d'étude</i>	16

Annexe 1 : Description détaillée des produits disponibles

Intitulé du Produit 1a – Plan de vol du bassin versant

Résumé du produit

Le plan de vol de la couverture du bassin versant à 3pts/m² est défini par le contour des données lidar acquises. Il est au format shp et en projection Lambert 93 et WGS84. Le contour de chaque entité correspond à la surface d'une bande de vol. Ils contiennent les attributs suivants :

- Zone : Le projet a été divisé en 4 zones (Aval, Aval marée basse, intermédiaire, Amont)
- Date_vol : Jours d'acquisition de la donnée
- Meteo : conditions météorologiques lors de l'acquisition
- Num_bande : Numéro unique de la bande d'acquisition (indiqué dans le fichier LAS)
- Heure_deb : heure de début d'acquisition
- Heure_fin : heure de fin d'acquisition

Identificateur du produit unique :

Plan_de_vol_avion_L93

Plan_de_vol_avion_WGS84

Délimitation géographique :

Zone du bassin versant de la Seine aval

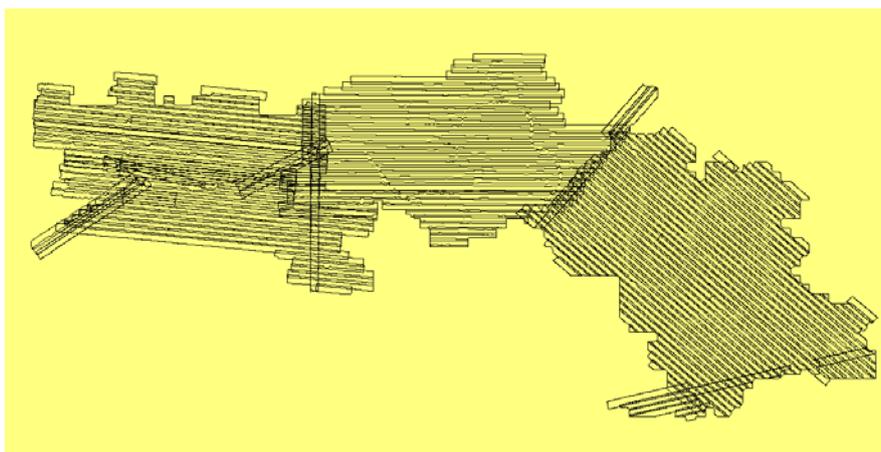


Figure 12 - Plan de vol Avion

Référence temporelle du produit

Cette acquisition a été réalisée en avion sur 6 missions et 2 années :

Mission 1 : 1 session (n°33), le 6 Avril 2010

Mission 2 : 1 session (n°34), le 8 Avril 2010

Mission 3 : 2 sessions (n°35 et n°36), le 9 Avril 2010

Mission 4 : 1 session (n°37), le 10 Avril 2010

Mission 5 : 3 sessions (n° S01, n° S02 et n° S03), le 23 mars 2011

Mission 6 : 1 session (n°S04), le 24 mars 2011.

Le détail de l'ensemble des sessions est porté en annexes

Date de création du produit	06/04/2010
Date de la dernière version du produit	30/01/2013

Généalogie du produit

L'acquisition aérienne à 3pts/m² permet de couvrir l'ensemble de la zone du bassin versant.

Ce plan de vol a été complété par une densification de l'acquisition avec des bandes supplémentaires sur la zone des roselières et l'acquisition de bandes spécifiques acquises à marée basse sur l'estuaire.

L'acquisition initialement prévue avec un ALS50 de Leica couplé avec une caméra RCD 105 a été réalisée, suite à une panne du précédent capteur par la société Heligrafics avec un ALS 60 de Leica avec une caméra RCD105 sur les missions 2010.

La contrainte de non-végétation a arrêté les acquisitions en 2010. Celles-ci ont été continuées et terminées en 2011.

Retour d'expérience du produit

Les différentes contraintes ont incité à se mobiliser tard dans la saison d'acquisition hivernale. En effet, les conditions de marée et de luminosité pour les photos ont conduit à se mobiliser début Mars. L'aléa de la panne du capteur a ainsi reporté de quelques jours la mobilisation d'un second capteur. La période de reprise de la végétation arrivant, l'accent a été mis sur l'acquisition Lidar donnant des images saturées peu exploitables. La décision de ne pas faire d'orthos à partir de ces images a donc été prise.

Ainsi, enlever la contrainte d'angle solaire ou de luminosité incite à se mobiliser plus tôt dans la saison.

Intitulé du Produit 1b – Plan de vol des berges

Résumé du produit

Le plan de vol des berges à 15 pts/m² est défini par le contour des données lidar acquises. Il est au format shp et en projection Lambert 93 et WGS84. Le contour de chaque entité correspond à la surface d'une bande de vol. Ils contiennent les attributs suivants :

- Zone : Le projet a été divisé en 4 zones (Aval, Aval marée basse, intermédiaire, Amont)
- Date_vol : Jours d'acquisition de la donnée
- Meteo : conditions météorologiques lors de l'acquisition
- Num_bande : Numéro unique de la bande d'acquisition (indiqué dans le fichier LAS)
- Heure_deb : heure de début d'acquisition
- Heure_fin : heure de fin d'acquisition

Identificateur du produit unique :

Plan_vol_hélico_L93

Plan_vol_hélico_WGS84

Délimitation géographique :

Zone des berges de la Seine aval

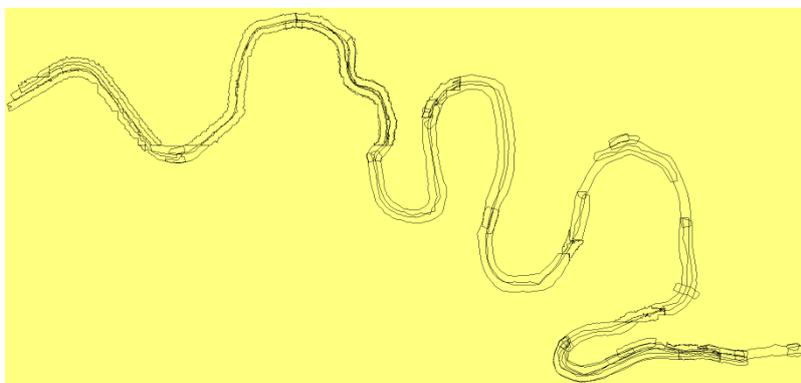


Figure 13 - Plan de vol Hélico

Référence temporelle du produit

Cette acquisition a été réalisée en hélico sur 2 missions

Mission 1 : sessions du 20 au 22 Juillet 2010

Mission 2 : session du 31 Aout au 02 Septembre 2010

Le détail de l'ensemble des sessions est porté en annexes

Date de création du produit	22/07/2010
Date de la dernière version du produit	30/01/2013

Généalogie du produit

L'acquisition aérienne à 15 pts/m² a permis d'acquérir des données le long de la berge.

L'acquisition a été réalisée en Hélicoptère en Lidar + images. Chaque bande a été calée pour faire 15km linéaire maximum et minutée sur l'onde de marée basse.

L'acquisition Hélico a été réalisée dans les conditions suivantes :

- Faible débit Seine:< 500 m³/s.
- basse mer avec coeff. <50 (éventuellement 60).
- Soleil > 27° pour photos si possible, ombres de nuages acceptées.
- Suivi de l'onde de marée.

Retour d'expérience du produit

La difficulté de cette acquisition réside dans le minutage précis de l'acquisition. Celle-ci a été calculée à partir des courbes marégraphiques fournies par le GIPSA.

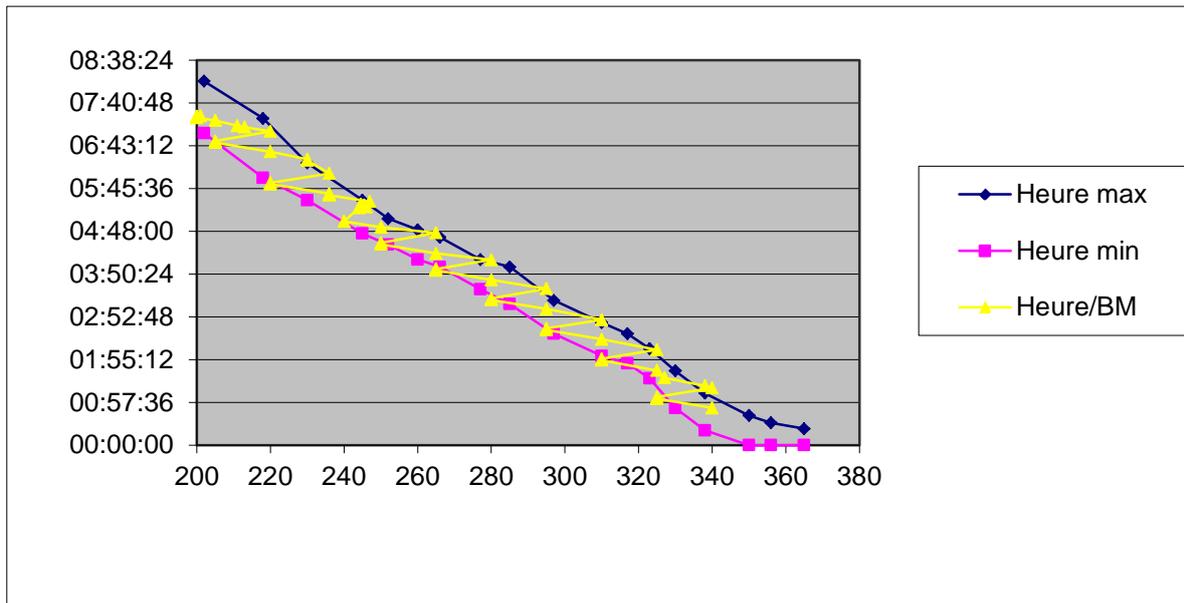


Figure 5 - Minutage pour un plan de vol avec coefficients de marée de 45

Intitulé du Produit 2 – Images

Résumé du produit

Ce produit contient l'ensemble des images acquises lors de la session d'acquisition lidar haute densité à 15pts/m² le long des berges. Elles sont au format tiff.

Identificateur du produit unique :

Numéro unique d'image

Délimitation géographique :

Zone des berges de la Seine aval

Référence temporelle du produit

Cette acquisition a été réalisée en avion sur 1 mission

Mission 2 : session du 31 Aout au 02 Septembre 2010

Date de création du produit	30/08/2010
Date de la dernière version du produit	02/09/2010

Généalogie du produit

L'acquisition a été réalisée en Hélicoptère en Lidar + images. Les images ont une résolution de 10cm.

La caméra utilisée est une Hasselblad69M de pixel.

La fiche de calibration est portée en annexe.

L'acquisition Hélico a été réalisée dans les conditions suivantes :

- Faible débit Seine:< 500 m³/s.
- basse mer avec coeff. <50 (éventuellement 60).
- Soleil > 27° pour photos si possible, ombres de nuages acceptées.
- Suivi de l'onde de marée.

Retour d'expérience du produit

La mission 1 d'acquisition a été marquée par une panne du capteur.

Intitulé du Produit 3 – Données altimétriques brutes

Résumé du produit

Les données altimétriques brutes ont fait l'objet d'une livraison provisoire au format las. Elle contenait l'ensemble des points lidar non calés pour un contrôle de la couverture des données.

Identificateur du produit unique

Dallage kilométrique

Délimitation géographique

Zone du bassin versant de la Seine aval

Référence temporelle du produit

Date de création du produit	25/05/2011
Date de la dernière version du produit	25/05/2011

Généalogie du produit

Les données altimétriques brutes ont été calculées après validation des trajectographies, calcul des semis de points issus de l'acquisition puis import et dallage avec le logiciel Terrascan.

Retour d'expérience du produit

Ce produit permet un contrôle limité de la donnée, puisque seule la couverture et la cohérence des données sont susceptibles d'être contrôlées.

Intitulé du Produit 4 – Semis de points brut

Résumé du produit

Le semis de points bruts comprend l'ensemble des points lidar acquis (bassin versant + berges). Ce semis de points est classé suivant le tableau décrit ci-dessous. Le semis de points est calé avec une classe de précision de 40 cm en planimétrie et de 10 cm en altimétrie. Ce produit est fourni au format las et xyz+.

Identificateur du produit unique :

Dallage kilométrique

Délimitation géographique :

Zone du bassin versant de la Seine aval

Référence temporelle du produit

Date de création du produit	03/04/2013
Date de la dernière version du produit	09/04/2013

Généalogie du produit

Le Semis de points « Brut » comprend tous les points acquis par avion et hélicoptère. Ces points ont été :

- Corrigés géométriquement (HRPM)
- Calés par rapport aux surfaces de contrôles
- Classifiés en fonction de l'objet atteint. En dehors des zones contractuelles, la classification est uniquement automatique et fait l'objet d'une numérotation spécifique : classe Avion + 100.

	Acquis en Avion	Acquis en Hélico	Avion classif auto
<i>Sol</i>	Classe numéro 2	Classe numéro 52	Classe numéro 102
<i>Basse végétation</i>	3	53	103
<i>Moyenne végétation</i>	4	54	104
<i>Haute végétation</i>	5	55	105
<i>Bâtiments</i>	6	56	106
<i>Surface en eau</i>	9	59	109
<i>Ponts</i>	10	60	110
<i>Murets</i>	16	66	116
<i>Points bas</i>	7	57	117
<i>Points hauts</i>	11	61	121
<i>Non classifié</i>	1	51	101

Ces données sont fournis au format LAS 1.0 ce qui permet de garder pour chaque point les informations :

- X,Y, et Z
- Classe : Identification de l'objet atteint par le rayon laser
- Numéro de l'axe
- « Time stamp » : l'heure exacte d'acquisition.
- « Echo » ...

Et également fourni dans le format XYZ+ ('ID_passe' 'Id_pt' 'X' 'Y' 'Z' 'Echo' 'Date' 'Heure')

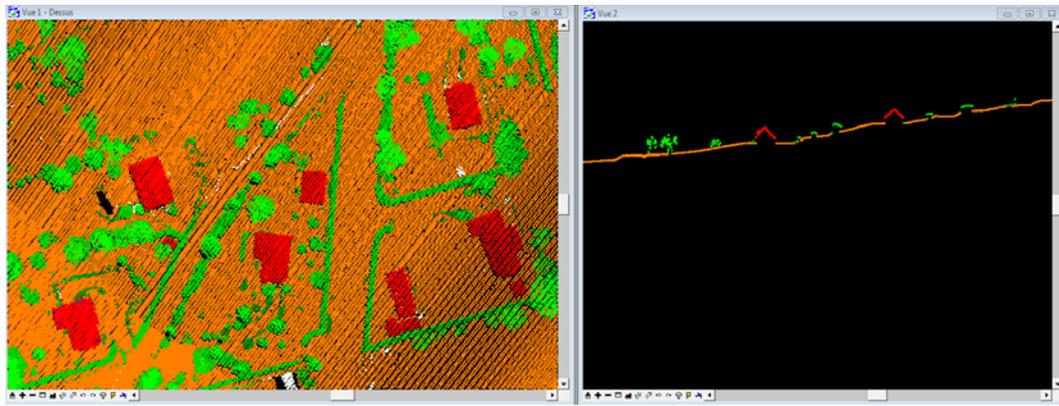


Figure 14 - Vue de dessus et coupe d'un hameau en bord de Seine – Acquis en Avion

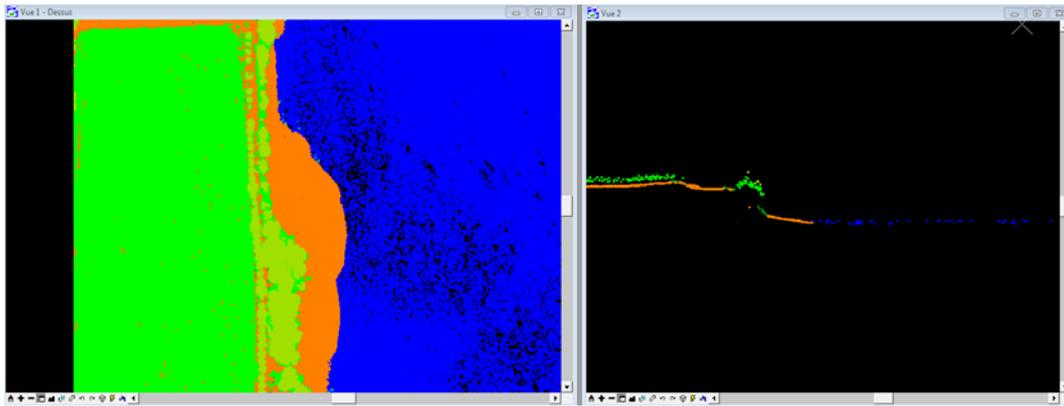


Figure 15 - Vue de dessus et coupe d'une berge de la Seine - Acquis en Avion + Helico

Retour d'expérience du produit

Problème de calage entre des données d'époque différentes et de végétation différentes.

Intitulé du Produit 5 – Semis de points « MNE »

Résumé du produit

Le semis de points « MNE » comprend tous les éléments du terrain suivant :

- Le sol
- Le bâti
- La végétation
- Les routes et ouvrages (Ponts)
- Surfaces en eau

Identificateur du produit unique :

Dallage kilométrique

Délimitation géographique :

Zone du bassin versant de la Seine aval

Référence temporelle du produit

Date de création du produit	04/10/2011
Date de la dernière version du produit	09/04/2013

Généalogie du produit

Ces semi de point ont été créé à partir du semi « Brut » en gardant simplement les classes nécessaires :

	Acquis en Avion	Acquis en Hélico
<i>Sol</i>	Classe numéro 2	Classe numéro 52
<i>Basse végétation</i>	3	53
<i>Moyenne végétation</i>	4	54
<i>Haute végétation</i>	5	55
<i>Bâtiments</i>	6	56
<i>Surface en eau</i>	9	59
<i>Ponts</i>	10	60
<i>Murets</i>	16	66

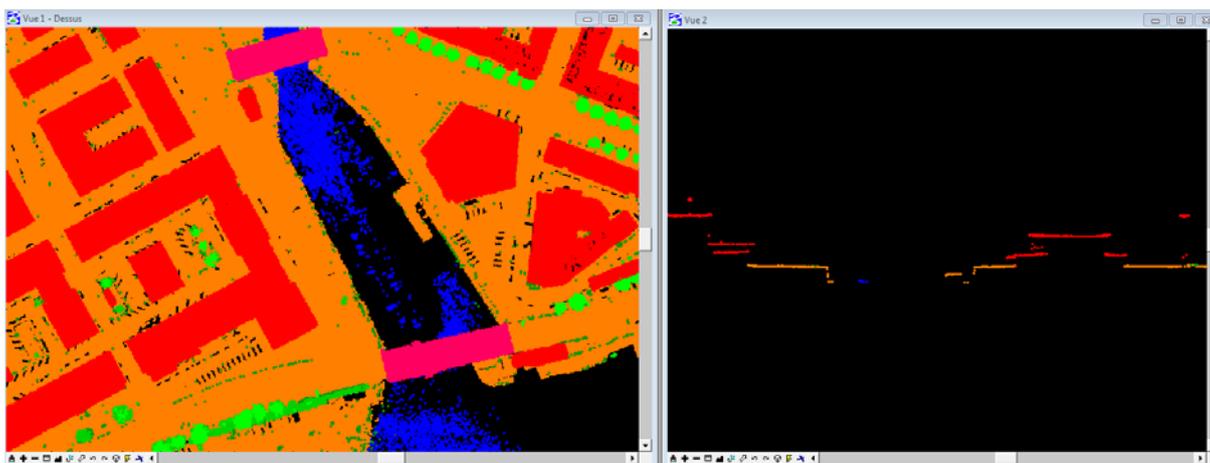


Figure 16 - Vue de dessus et coupe d'un semi MNE - Distinction du terrain nu, de la végétation, du bâti, des ponts et surfaces en eau

Retour d'expérience du produit

La principale différence entre le produits semis de point MNE et semis de points bruts consiste à retirer les éléments mobiles, le bruit du à la petite végétation. Il faut ainsi bien définir les éléments qui restent dans la classe défaut (voiture, grue, mobilier urbain...) et la hauteur de la végétation.

Intitulé du Produit 6 – Semis de points « MNT »

Résumé du produit

Le semis de point « MNT » comprend uniquement les points LIDAR représentant le sol.

Identificateur du produit unique :

Dallage kilométrique

Délimitation géographique :

Zone du bassin versant de la Seine aval

Référence temporelle du produit

Date de création du produit	04/10/2011
Date de la dernière version du produit	09/04/2013

Généalogie du produit

Ces semi de points ont été créés à partir du semi « Brut » en gardant simplement les classes nécessaires :

	Acquis en Avion	Acquis en Hélico
<i>Sol</i>	Classe numéro 2	Classe numéro 52

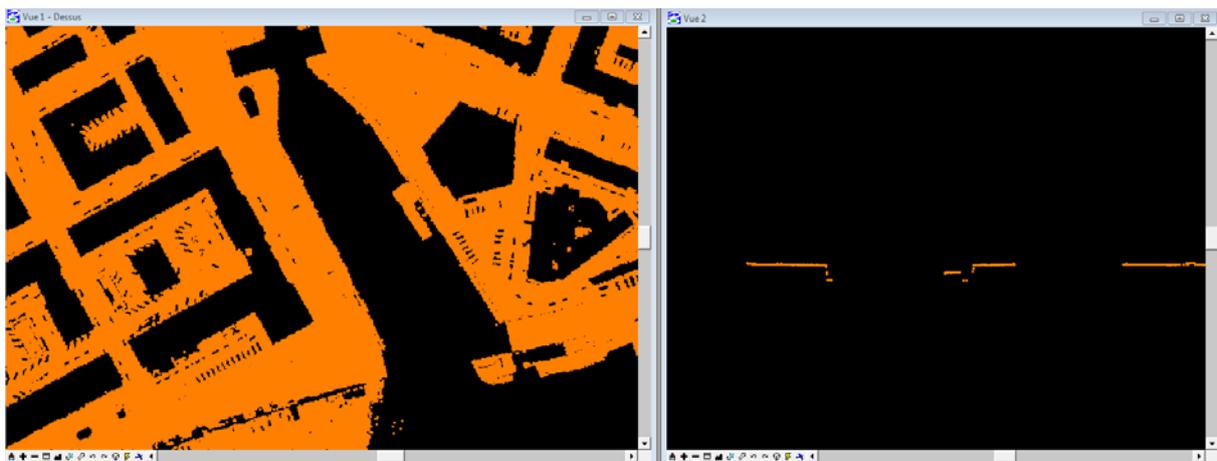


Figure 17 - Vue de dessus et coupe d'un semi MNT

Retour d'expérience du produit

Pour créer le semis de points « MNT », il est nécessaire de dissocier les points qui atteignent le sol de ceux du sursol. Pour cela, nous créons une macro qui permet une classification automatique du sol. Celle-ci permet de classer correctement 90% des points appartenant au sol, les 10 % restants sont édités manuellement.

Intitulé du Produit 7 – Grille MNE 1m

Résumé du produit

Les grilles « MNE 1m » représente le sol, les bâtiments, la végétation, les routes et les ouvrages au pas de 1m. Pour ces grilles, les surfaces en eau ne sont pas utilisées.

Le format est Surfer ASCII, l'information « no data » est -99999.000.

Identificateur du produit unique :

Dallage kilométrique

Délimitation géographique :

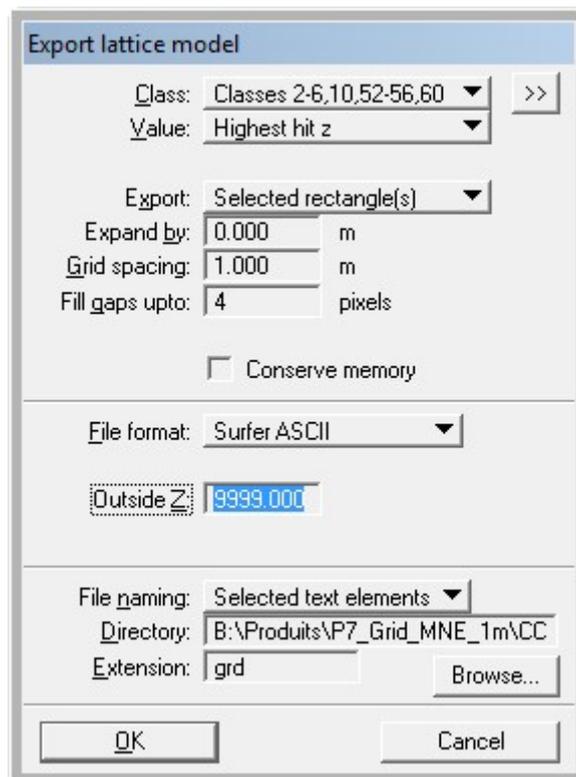
Zone du bassin versant de la Seine aval

Référence temporelle du produit

Date de création du produit	29/02/2012
Date de la dernière version du produit	09/04/2013

Généalogie du produit

Les grilles sont créées à partir du semis de points « MNE », sans les zones en eau. Chaque point de la grille correspond au point le plus haut compris dans un rayon de 1m. Lorsque qu'il n'y a pas de points LiDAR dans un rayon de 1m, un point interpolé va être créé et ceci jusqu'à 4 mètres.



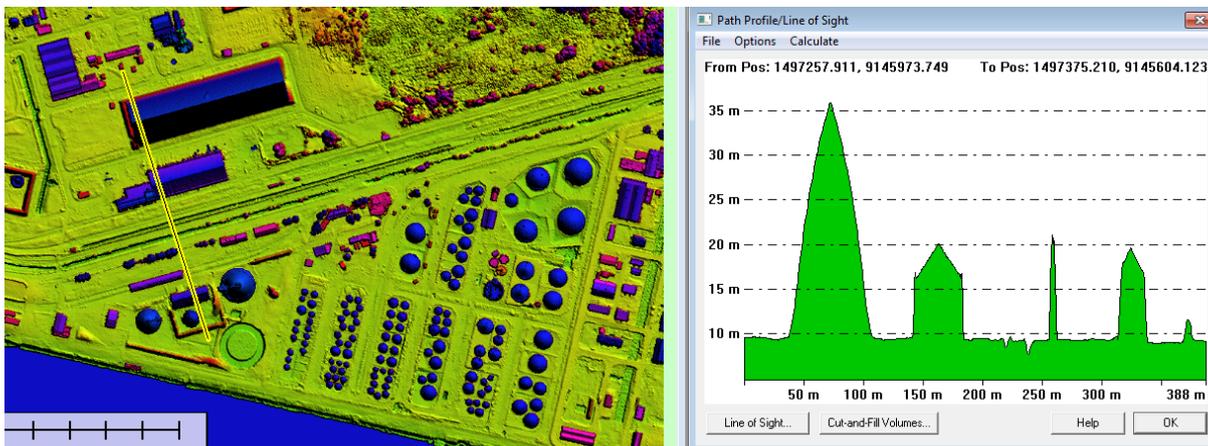


Figure 18 - Vue de dessus et en coupe d'une grille MNE 1m

Retour d'expérience du produit

Interpolation maximum de 4m pour combler les petites zones sans données, sans trop « rogner » sur les zones en eaux (comme la Seine).

Intitulé du Produit 8 – Grille MNT 1m

Résumé du produit

Les grilles « MNT 1m » représente le sol.

Le format est Surfer ASCII, l'information « no data » est -99999.000.

Identificateur du produit unique :

Dallage kilométrique

Délimitation géographique :

Zone du bassin versant de la Seine aval

Référence temporelle du produit

Date de création du produit	28/02/2012
Date de la dernière version du produit	09/04/2013

Généalogie du produit

A partir du semis de points « MNT », nous créons un modèle triangulé (TIN) qui sert à produire la grille MNT au pas de 1m (projection de points sur la surface triangulée).

Différentes interpolations ont été utilisées pour créer le TIN:

- Longueur maximale de 5m pour rester au plus proche de la donnée acquise. La grille produite a donc de nombreuses zones de « no data ».
- Longueur maximale de 1000m pour limiter les zones de « no data ».

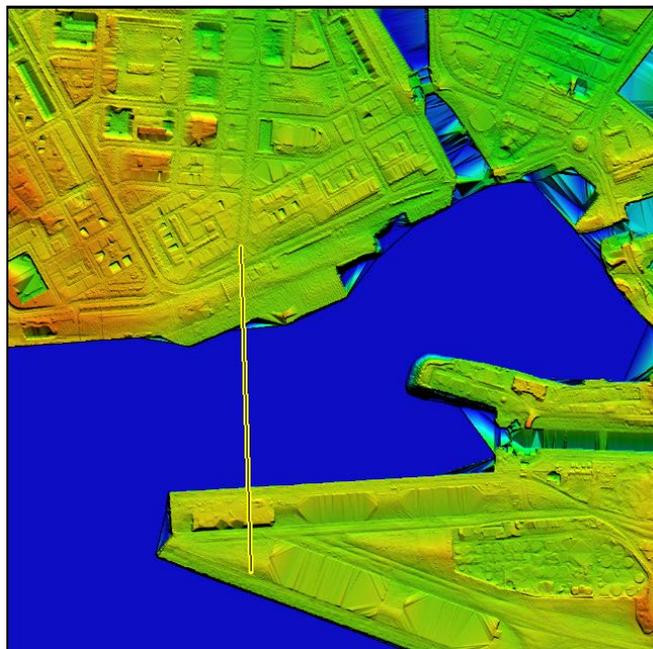


Figure 19 - Vue de dessus d'une grille MNT

Retour d'expérience du produit

L'avantage de l'interpolation maximale de 1000 mètres est d'avoir des grilles avec que peu ou pas de trous. Néanmoins, cette très grande interpolation crée des « artefacts ». Les deux types de grilles sont donc à utiliser

conjointement même si les grilles avec une petite interpolation (5 mètres ici) sont difficilement exploitables à cause de leurs très nombreuses zones sans valeurs.

Une solution pour exploiter plus facilement cette donnée serait d'associer au MNT des métadonnées RASTER, basé notamment sur l'attribut distance. L'information fournit par chaque nœud est une évaluation de la distance entre le nœud considéré et les différents points connus ayant servi à calculer sont altitude (distance d'interpolation). Ceci permet d'apprécier en un coup d'œil les zones interpolées, des zones correctement définis par le MNT LiDAR.

Intitulé du Produit 11 – Grille MNT 5 m

Résumé du produit

Les grilles « MNT 5m » représente le sol.

Le format est Surfer ASCII, l'information « no data » est -99999.000.

Identificateur du produit unique :

Dallage kilométrique

Délimitation géographique :

Zone du bassin versant de la Seine aval

Référence temporelle du produit

Date de création du produit	28/02/2012
Date de la dernière version du produit	09/04/2013

Généalogie du produit

A partir du semis de points « MNT », nous créons un modèle triangulé (TIN) qui sert à produire la grille MNT au pas de 5 m (projection de points sur la surface triangulée).

L'interpolation est de 1000 mètres pour n'avoir aucuns trous dans les grilles créées.

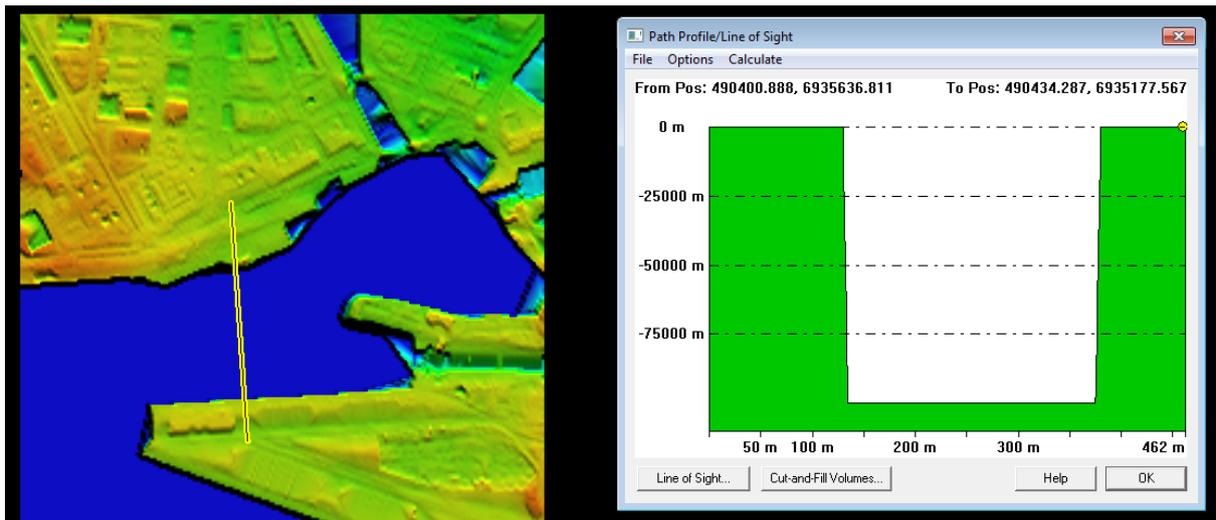


Figure 20 - Vue de dessus et en coupe d'une grille MNE 5m

Retour d'expérience du produit

Grilles beaucoup plus légères à utiliser que les grilles MNT 1m.

Intitulé du Produit 12 – Orthophotographies

Résumé du produit

Ce produit contient l'ensemble des orthophotographies réalisées à base des images acquises simultanément avec le vol lidar lors des vols hélicoptères. Les acquisitions ont donc eu lieu :

- Du 20 au 22 Juillet 2010
- Du 31 Aout au 02 Septembre 2010

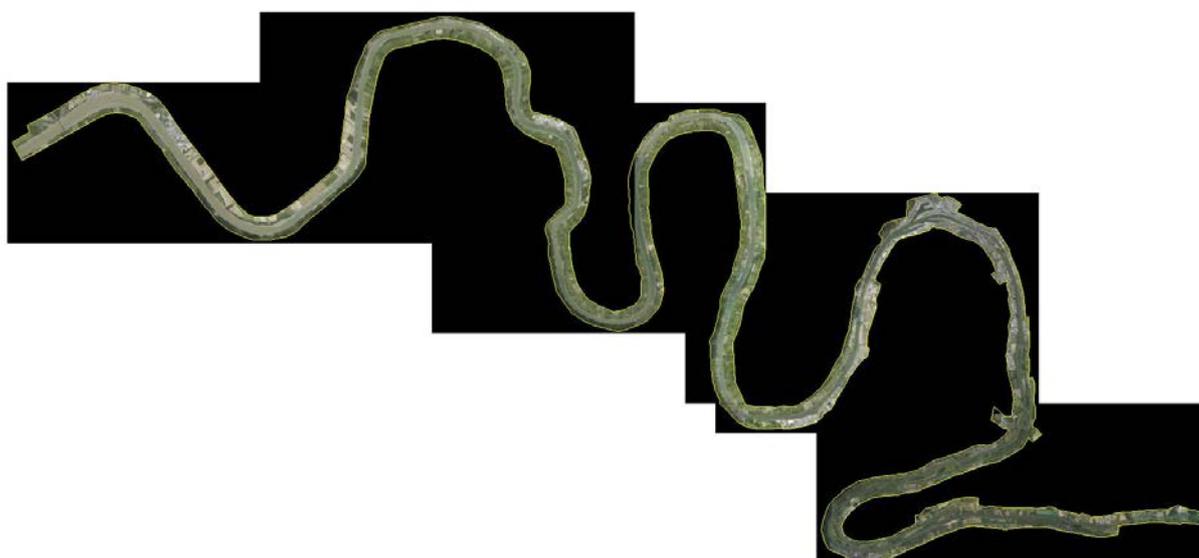
Le format de la livraison des orthophotos est le TFF/TFW et ECW/ERS.

La résolution (détail) des orthophotographies est de 0.1m. La précision de positionnement des orthophotographies est de l'ordre de 50 cm.

MNT de rectification : issu de l'acquisition lidar.

Délimitation géographique

La délimitation est identique à la délimitation du produit MNT/lidar.



Référence temporelle du produit

Date de création du produit	2011,2012
Date de la dernière version du produit	24/05/2013

Généalogie du produit

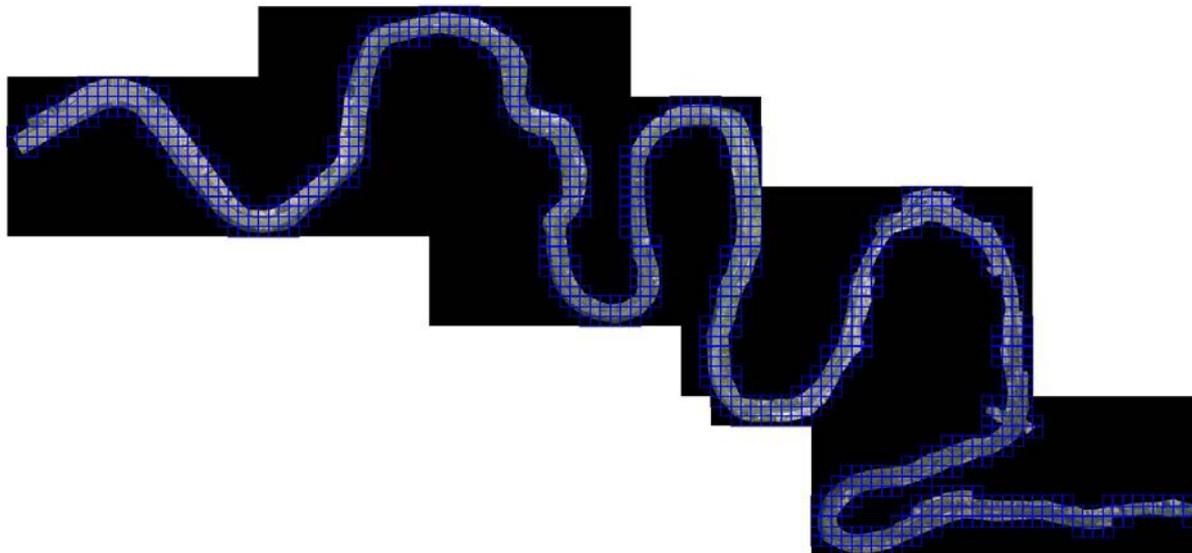
Une aérotriangulation a été réalisée dans les règles de l'art du métier à base des points de stéréopréparation levés au sol et des points extraits du MNT/lidar.

L'orthorectification a été réalisée au niveau du sol, à base du MNT/lidar.

Le mosaïquage a été vérifié et rectifié uniquement sur la zone des berges.

Une harmonisation radiométrique des images a été effectuée par calculs automatiques.

Le produit est livré en dalles, selon un dallage régulier.



Retour d'expérience du produit

Le produit est un excellent outil pour une visualisation facile de l'environnement proche de la Seine.

Intitulé du Produit 14 – Couche SIG ouvrage de protection contre les crues

Résumé du produit

Vectorisation manuelle des ouvrages de protection contre les crues sous la forme de segments connu en 2,5D. A chaque segment est associé l'altitude de la berge ou du muret qu'il représente.

La couche SIG est fourni au format Shape et DWG.

	Z	▽	TYPE
0	4.98		Berges
1	5.01		Berges
2	9.1		Berges
3	7.69		Berges
4	7.47		Berges
5	7.76		Berges
6	6.2		Berges
7	6.55		Berges
8	5.04		Berges
9	5.04		Berges
10	5.04		Berges

Figure 21 - L'altitude IGN69 et le type de l'ouvrage sont associés à chaque segment digitalisé

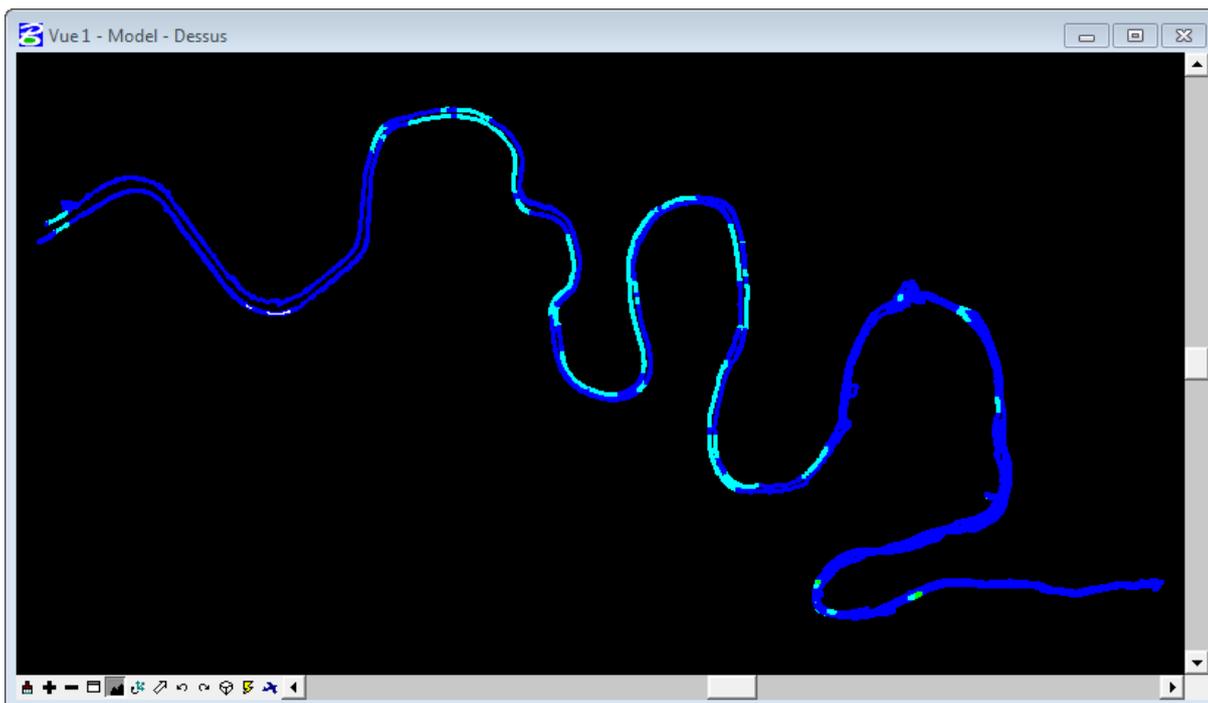


Figure 22 - Digitalisation des berges - Distinction entre murets et berges

Délimitation géographique :

Zone du bassin versant de la Seine aval

Référence temporelle du produit

Date de création du produit	28/11/2011
Date de la dernière version du produit	09/04/2013

Généalogie du produit

La couche SIG a été créée à partir de points classés dans les couches :

	Acquis en Avion	Acquis en Hélico
Sol	Classe numéro 2	Classe numéro 52
Murets	16	66

Grâce aux informations transmises par les différents services du GIPSA, nous avons pu vectoriser les limites planimétriques des ouvrages de protections et faire la distinction entre les berges et murets. Ces polygones 2D ont été projetés sur le semis de points laser (classe sol pour les berges, classes Murets pour les murets) afin de déterminer l'altitude des ouvrages de protection.

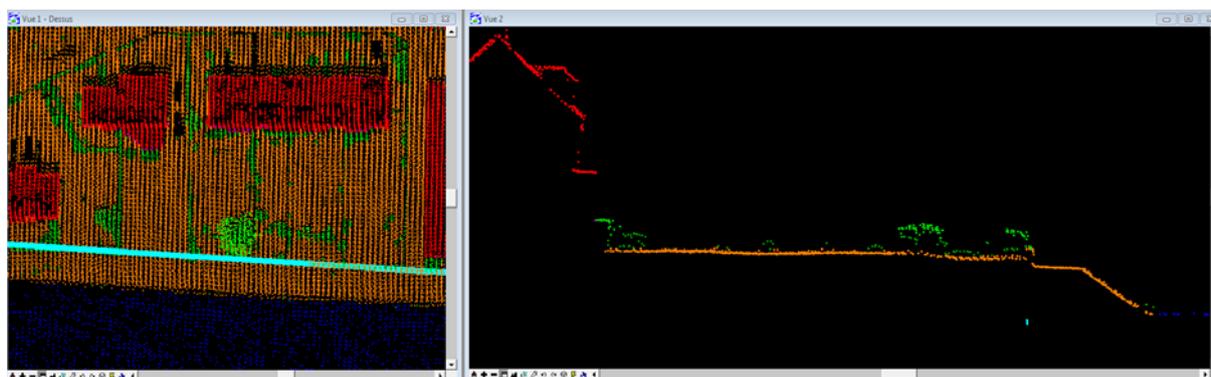


Figure 23 - Zone urbaine - Digitalisation au niveau des murets

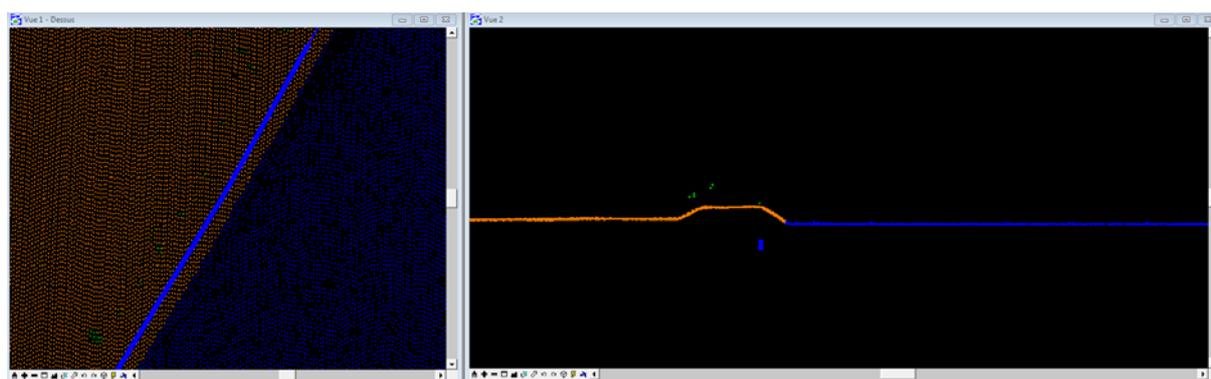


Figure 24 - Zone rurale - Digitalisation des berges en haut de talus

Retour d'expérience du produit

Intitulé du Produit 15 – Semis de points « Végétation »

Résumé du produit

Le semis de point « Végétation » comprend uniquement les points LiDAR représentant la végétation.

Identificateur du produit unique :

Dallage kilométrique

Délimitation géographique :

Zone du bassin versant de la Seine aval

Référence temporelle du produit

Date de création du produit	19/11/2012
Date de la dernière version du produit	09/04/2013

Généalogie du produit

Ces semis de points ont été créés à partir du semis « Brut » en gardant simplement les classes nécessaires :

	Acquis en Avion	Acquis en Hélico
<i>Basse Végétation</i>	Classe numéro 3	Classe numéro 53
<i>Moyenne Végétation</i>	Classe numéro 4	Classe numéro 54
<i>Haute Végétation</i>	Classe numéro 5	Classe numéro 55

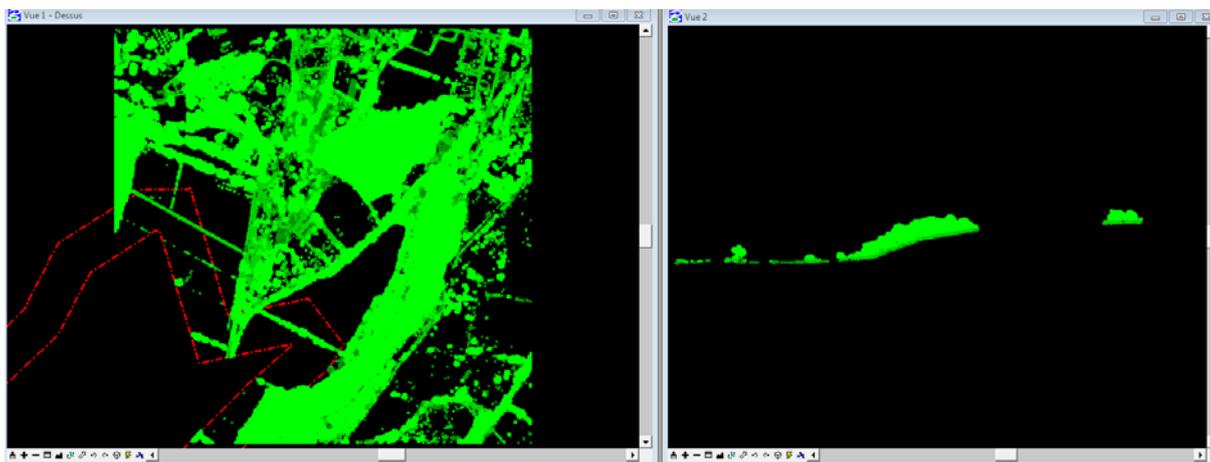


Figure 25 - Vue de dessus et en coupe du semis de points Végétation

Retour d'expérience du produit

TerraScan permet de faire une classification automatique de la végétation basée sur la différence de hauteur entre le premier et le dernier écho de chaque impulsion laser. La classification automatique est ensuite éditée manuellement car un certain nombre de points mal classés subsistent.

Intitulé du Produit 16 – Semis de points « Bâtiments »

Résumé du produit

Le semis de point « Bâtiments » comprend uniquement les points LiDAR représentant les bâtiments.

Identificateur du produit unique :

Dallage kilométrique

Délimitation géographique :

Zone du bassin versant de la Seine aval

Référence temporelle du produit

Date de création du produit	19/11/2012
Date de la dernière version du produit	09/04/2013

Généalogie du produit

Ces semi de points ont été créés à partir du semi « Brut » en gardant simplement les classes nécessaires :

	Acquis en Avion	Acquis en Hélico
<i>Bâtiments</i>	Classe numéro 6	Classe numéro 56

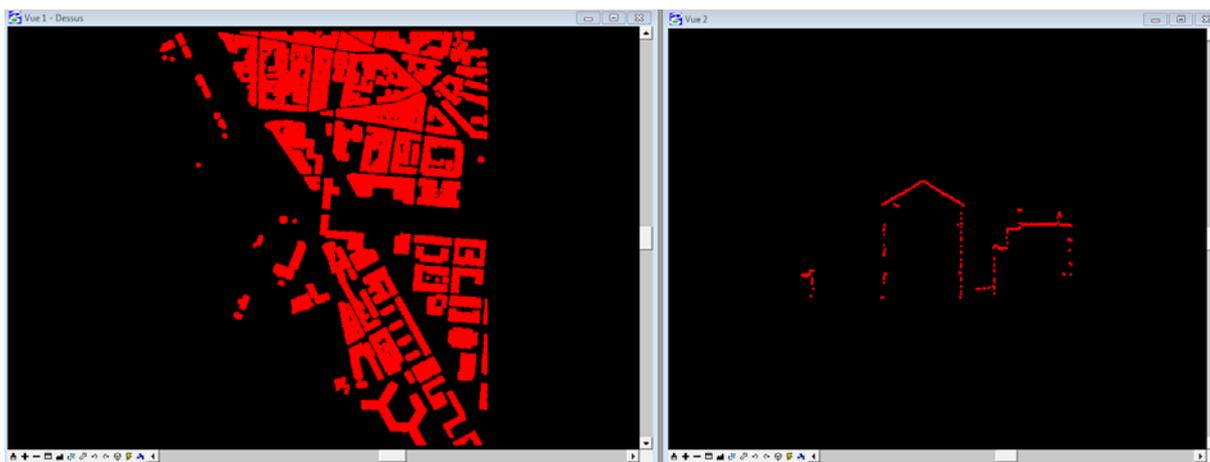


Figure 26 - Vue de dessus et en coupe du semis de points Bâtiments

Retour d'expérience du produit

TerraScan permet de faire une classification automatique du bâti basée sur :

- Les trous présents dans le MNT
- Les différences d'altitude entre points voisins présents dans ces trous (rugosité des surfaces)

La classification automatique est ensuite éditée manuellement car un certain nombre de points mal classés subsistent.

Intitulé du Produit 19 – Model Key Points

Résumé du produit

Le produit « Model Key Points » est un semis de points allégé représentant le terrain naturel. Il est créé à partir du semis de points MNT.

Identificateur du produit unique :

Dallage kilométrique

Délimitation géographique :

Zone du bassin versant de la Seine aval

Référence temporelle du produit

Date de création du produit	19/11/2012
Date de la dernière version du produit	09/04/2013

Généalogie du produit

Sur le semis de points MNT représentant le terrain naturel, nous avons appliqué une macro permettant d'alléger considérablement la taille des fichiers tout en gardant une très bonne représentation du terrain. Nous avons fait le choix de garder :

- 1 point dans un rayon de 20 mètres dans le cas où le terrain est plat.
- Les points qui permettent de représenter au mieux la topographie de la zone, à condition que l'élément à représenter fasse plus de 15cm.

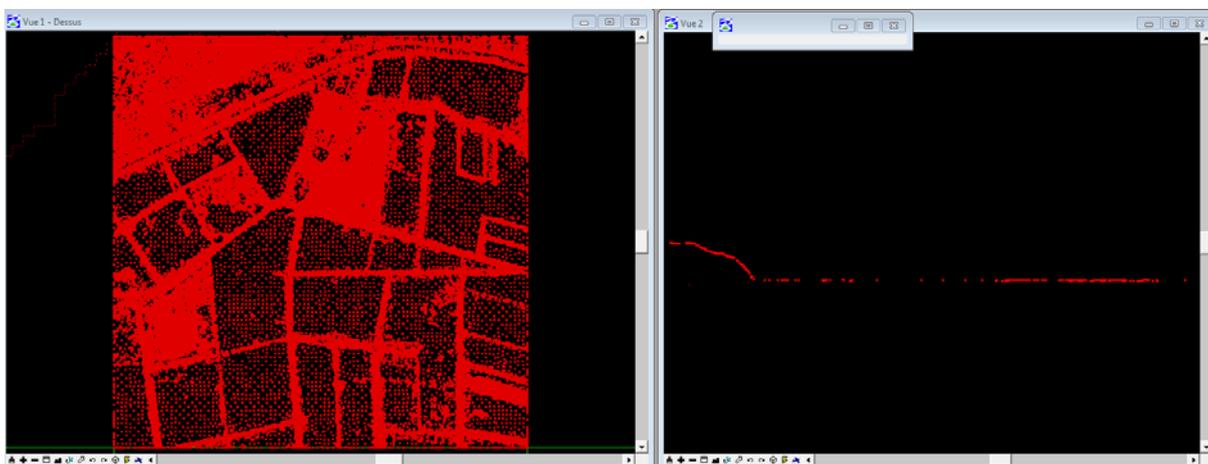
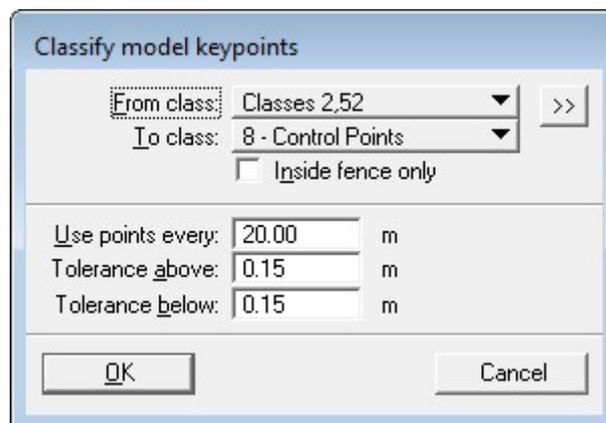


Figure 27 - Vue de dessus et en coupe du model key points

Retour d'expérience du produit

Ce semis de points permet une représentation très fiable du terrain bien que moins précise que le semis de points MNT complet. Il nous a permis de faire la rectification des Orthos.

Intitulé du Produit 21 – Grille MNT 20 cm

Résumé du produit

Les grilles « MNT 20 cm » représente le sol.

Le format est Surfer ASCII, l'information « no data » est -99999.000.

Identificateur du produit unique :

Dallage kilométrique

Délimitation géographique :

Zone des berges de la Seine aval

Référence temporelle du produit

Date de création du produit	09/04/2013
Date de la dernière version du produit	09/04/2013

Généalogie du produit

A partir des points classés dans les couches sol et murets, nous créons un modèle triangulé (TIN) qui sert à produire la grille MNT au pas de 20cm (projection de points sur la surface triangulée).

L'interpolation est de 1000 mètres.

Classes de points utilisés :

	Acquis en Avion	Acquis en Hélico
<i>Sol</i>	Classe numéro 2	Classe numéro 52
<i>Murets</i>	16	66

Retour d'expérience du produit

Dans un premier temps, les grilles MNT 1m devaient être créées à partir des classes *Sol* et *Murets*. Très vite, nous nous sommes rendu compte que la classe *Murets* apportait davantage de bruit qu'une information fiable pour une grille à 1m. C'est pourquoi nous avons fait le choix de créer ce nouveau produit qui permet de distinguer précisément les Murets grâce à une information tous les 20cm.