
Focus Hydro- morphologique



Sommaire

Introduction	4
Matériel & Méthode	5
Présentation et choix des méthodes	5
Le LIDAR (Light Detection and Ranging)	5
La photogrammétrie	7
Application du protocole choisi	8
Mise en forme des données	10
Résultats et descriptif des données produites	11
Présentation des données	11
Notice d'utilisation du produit	15
Conclusion et perspectives	15
Ce qu'il faut retenir	17
Bibliographie	18

Table des figures

Figure 1 : Schéma d'application de la méthode LIDAR (sources : D. Lague et « rencontres de l'ONEMA » n°42 2016).

Figure 2 : 1-Photogrammétrie classique (IGN, google, geoportail) à 20cm. 2-Photogrammétrie de précision (actualisée) de 5cm au niveau de la RNN du Romelaëre. 3-Zoom d'un casier du Romelaëre.

Figure 3 : Etape de « paquetage » ; Poses et géo-référencements des repères au sol afin de relier les dalles photos entrent elles à l'aide d'une station total ou Tachéomètre.

Figure 4 : Extrait du MNT du marais aux alentours de la commune de Salperwick. Un code couleur a été appliqué en fonction de l'altimétrie (Qgis 3.10 avec les modules GrassGis et Qgis2treejs).

Figure 5 : Exemple d'application du MNT du marais aux alentours de la commune de Salperwick. Usage de la fonction permettant de produire un profil topographique sur le wateringue du fossé des moines (Global Mapper 21.0).

Figure 6 : Exemple d'application des orthophotos à 5cm. Zooms successifs permettant d'apprécier les habitats de berges présent sur l'étang de Degazelle au Nord de la RNN du Romelaëre.

Figure 7 : Exemple d'application des fichiers .shp.

Figure 8 : Exemple d'application des modules 3D d'études topographique via Qgis2threejs.

Tableaux

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des lasers rouge et vert.

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des diverses techniques de photogrammétries.

Lexique

ADNe : ADN environnemental

MNT : Modèles Numérique de Terrain

SIG : Système d'Information Géographique

Introduction

A l'heure actuelle de l'émergence des nouvelles technologies voire de nouvelles sciences notamment du numérique, un grand nombre de nouveaux outils permet de révolutionner le métier d'écologie. A l'instar de la méthode d'analyse par ADNe, de la radio-téléométrie ou encore de l'imagerie acoustique, les technologies d'imageries aériennes peuvent être pertinentes pour aider les acteurs et les gestionnaires du marais Audomarois dans leur travail de préservation, de restauration et d'évolution de cette vaste zone humide de grand intérêt.

En effet, la plupart des études scientifiques biologiques récentes se retrouvent être le plus souvent croisées avec d'autres disciplines, en lien direct avec la chimie, la génétique, le numérique, l'urbanisme ou les systèmes d'informations géographiques.

Ce dernier Focus compte produire une base informative pertinente à destination de tous les gestionnaires du marais Audomarois afin d'affiner ou de faciliter leurs approches cartographiques.

Ainsi, l'émergence de ce Focus a eu lieu suite aux constats suivants :

- Difficultés d'appréhender le marais en termes de surface, de topographie et les enjeux liés au fonctionnement hydrologique.
- Les connexions, les déconnexions, les remblais, les aménagements en tout genre sont monnaies courantes dans la zone et leurs effets sont parfois méconnus.
- Actualisation des 700km du réseau de wateringues et de watergangs.
- Une aide à la distinction et à la détermination des cours d'eau et des fossés dans le cadre d'une révision du classement des cours d'eau. Cela pourra servir pour la production d'une nouvelle cartographie de référence pour les différentes réglementations applicables aux cours d'eau : loi sur l'eau (entretien des cours d'eau), BCAA (Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales) et ZNT (Zones Non Traitées).
- Une base de travail en vue d'établir des opérations et des travaux de restauration écologiques.
- D'établir un atlas cartographique sur les densités des communautés végétales.

La possibilité de l'application de plusieurs méthodes fut donc analysée en vue de répondre à ces problématiques, notamment l'utilisation du Lidar (Light Detection and Ranging ; une technologie basée sur les faisceaux laser) et de la photogrammétrie haute précision.

Lors de ce présent Focus, ces méthodes seront présentées ainsi que le raisonnement ayant amené au choix de la méthode employée pour étudier le réseau hydrologique du marais vu du ciel. Cette étude a été réalisée en partenariat avec le bureau d'étude spécialisé InGeo basé à

Saint-Omer. Les données ont été produites par l'utilisation de la méthode de photogrammétrie haute précision à l'aide de survols en avion léger et compilées sous différentes formes (notamment avec un Modèle Numérique de Terrain).

L'ambition de ce Focus est de pouvoir apporter un outil adaptatif de gestion aux partenaires œuvrant sur le marais Audomarois. Il est donc différent des autres Focus précédents et propose plutôt une notice d'utilisation et des exemples d'application des données produites.

Matériel et méthode

Présentation et choix des méthodes

A l'heure de la démocratisation et de l'utilisation des drones et des techniques de détections, les levés aéroportés sont sans nul doute plus rapides que les méthodes de topographie traditionnelles au sol. Néanmoins que ce soit avec l'utilisation du LIDAR ou de la photogrammétrie, ces deux méthodes présentent presque autant de points communs que de divergences. De prime abord, c'est la technique LIDAR qui fut pressentie en termes d'utilisation lors de l'ébauche du projet. Malgré tout, et pour les raisons décrites ci-dessous, c'est la photogrammétrie qui fut utilisée sur le marais Audomarois.

Le LIDAR (Light Detection and Ranging)

Le LIDAR est une technologie basée sur l'analyse de la topographie grâce à l'usage de faisceaux laser. L'appareil en survol au-dessus de la zone étudiée va libérer un laser et mesure le temps qu'il faut pour que la lumière revienne au niveau du capteur (Vennetier et al., 2010 Vautier et al. 2010). C'est un capteur actif (émission de source d'énergie).

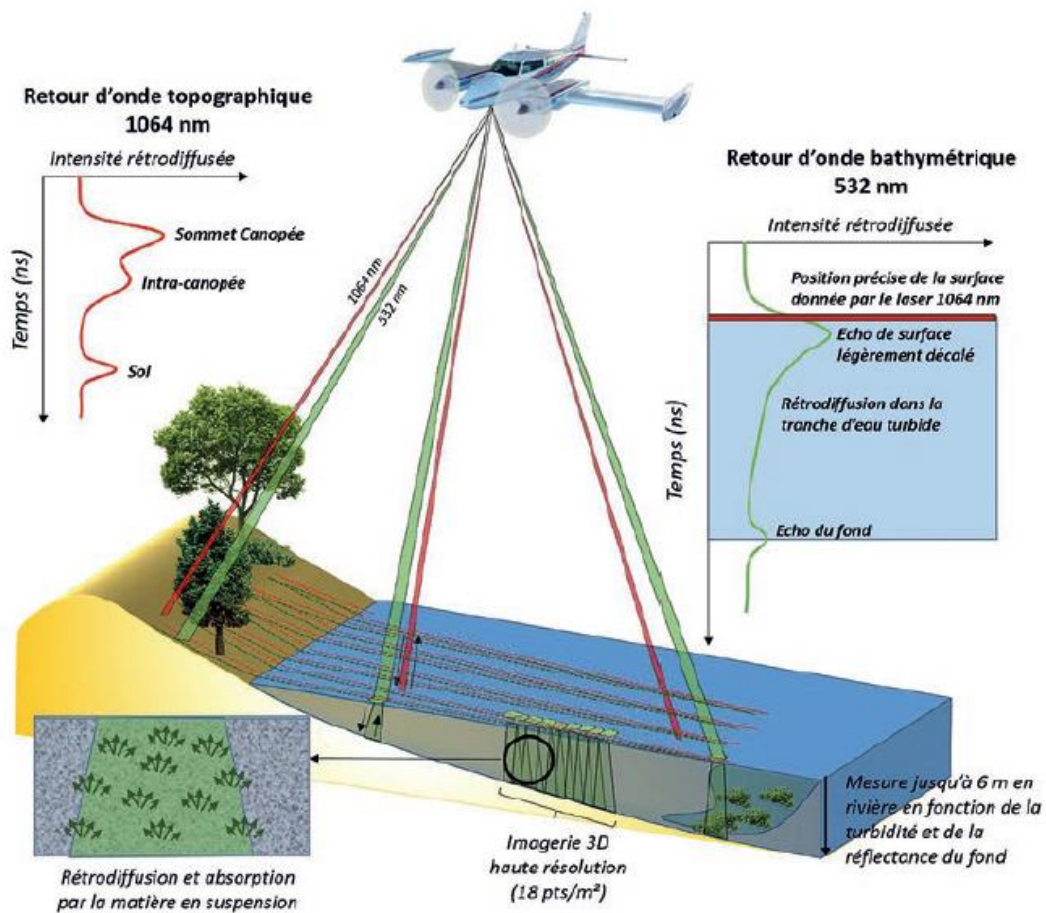


Figure 1 : Schéma d'application de la méthode LIDAR (sources : D. Lague et « rencontres de l'ONEMA » n°42 2016).

Le produit principal réalisé par LIDAR est un nuage de points en 3D. Le nombre de points du nuage va directement dépendre du capteur ainsi que des paramètres de vol (fréquence de balayage, taux de répétition, altitude et vitesse). Le nuage est aussi produit en fonction des besoins de l'utilisateur (grand nombre pour des petits objets type lignes électriques, rambardes, éclairage urbain ou plus faible comme lors d'une analyse topographique de zone rurale etc.).

Le capteur LIDAR est uniquement monochrome et un post-traitement est nécessaire pour faciliter l'interprétation (Buczowski « Drone LiDAR or Photogrammetry ? Everything you need to know »). Le post-traitement ajoute de la complexité au processus global mais permet de classer les points en fonction des types d'objets ou de la topographie.

L'émetteur LIDAR peut permettre selon les cas d'émettre deux types de faisceaux différents. Le laser vert et le laser rouge (Tableau 1).

Avantages	Désavantages
Laser rouge : « Scan » tridimensionnel du terrain, topographie	Difficulté d'acquisition précise si végétation trop dense
Laser vert : Bathymétrie en plus de la topographie (rouge)	Coût plus important et difficulté d'acquisition précise si eau turbide

Tableau 1 : Avantages et inconvénients des lasers rouge et vert.

Les faisceaux laser rouges peuvent pénétrer dans la végétation. Néanmoins, si la végétation est trop dense, il est possible d'avoir des difficultés d'acquisitions précises. En général, le LIDAR est capable d'atteindre le terrain sous la canopée. Il est donc par-là, fort utile dans l'élaboration de MNT (Modèle Numérique de Terrain). Ces lasers se réverbèrent sur l'eau.

Les faisceaux verts quant à eux permettent de traverser l'eau et d'établir un écho bathymétrique. Ils sont donc très utiles afin d'acquérir la donnée de bathymétrie, ce qui peut être pertinent dans l'étude du marais.

Il est possible de coupler les deux lasers afin d'acquérir une précision maximum (Figure 1).

Néanmoins, suite à de nombreux échanges avec notre partenaires InGeo ainsi que M. Dimitri Lague (Directeur de Recherche CNRS - Quantitative Geomorphology & LiDAR, Université de Nantes-Rennes), l'utilisation de cette méthode se serait heurtée à plusieurs limites dans le marais Audomarois. En effet, les résultats produits pourraient être très incertains pour plusieurs raisons :

- i – Une eau trop turbide dans plusieurs zones de rivières ou d'étangs ; ce qui porte préjudice à l'utilisation de la méthode.
- ii – Une épaisse couche de matière organique à cause du caractère lentique de la zone d'étude ; ces matières sont pénalisantes car elles peuvent absorber le laser.

En définitive, bien que le levé topo-LIDAR offre des analyses intéressantes sur la connectivité des différents cours d'eau (possibilité de détecter parfaitement ce qui est en eau de ce qui ne l'est pas), il

y aurait probablement quelques zones impossibles à mesurer en bathymétrie. Dans ces conditions, il peut être difficile de garantir des certitudes en termes de profondeur atteinte. D'après le Dr. Lague et des avis d'experts, la méthode a été abandonnée au vu du rapport coût/bénéfice mis en jeu.

Néanmoins l'utilisation du LIDAR bathymétrique peut être parfaitement pertinente dans le cadre d'analyse de grand cours d'eau dynamique et limpide comme l'Ain, la Loire ou le Vénéon (Vázquez-Tarrío et al. 2016).

La photogrammétrie



Avantages	Désavantages
Photogrammétrie classique : bonne vue du ciel et gratuité du service	Résolution trop faible pour de l'observation précise de la végétation ou des connexions
Photogrammétrie de précision (avec ULM) : actualisée en 2019, possibilité de rendu 3D et de MNT. Possibilité d'observation précise des remblais sauvages, de l'endiguement, des obstacles à l'écoulement, de la végétation...	Coût plus important et certaines zones au sol cachées si trop de végétations arborées et arborescentes
Photogrammétrie infrarouge : observation précise de la végétation pérenne (aquatique ou terrestre).	N'existe qu'en précision 10cm maximum (optique)

Tableau 2 : *Avantages et inconvénients des diverses techniques de photogrammétries.*

La photogrammétrie quant à elle, est une technologie passive. Elle est basée sur des images transformées de la 2D en modèles cartométriques 3D. Le même principe est utilisé avec une caméra classique pour établir une perception de profondeur (Buczowski « Drone LiDAR or Photogrammetry? Everything you need to know »). A l'inverse de la technique LIDAR, la photogrammétrie ne peut générer que des points basés sur ce que le capteur visualise. C'est-à-dire que les surfaces arborées denses ou les bâtiments peuvent couvrir le sol et donc ne pas permettre une vision précise. Néanmoins, cette approche étant visuelle, elle permet de produire des rasters colorimétriques de précisions (à l'inverse de LIDAR monochrome sans post-traitement). Ainsi la photogrammétrie peut être la technologie de mise pour les cas d'utilisation où une évaluation visuelle précise est requise (Bretar 2006).

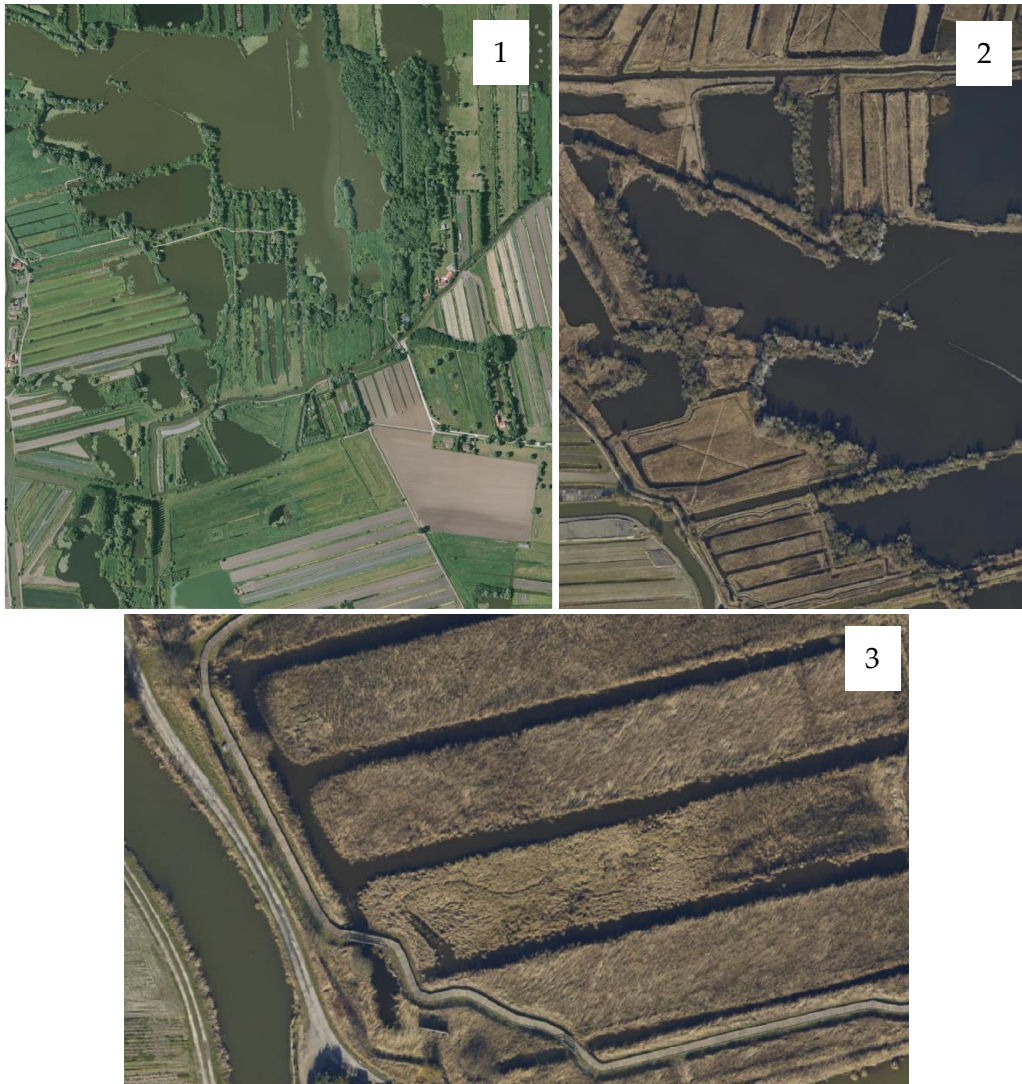


Figure 2 : 1-Photogrammétrie classique (IGN, google, géoportail) à 20cm. 2-Photogrammétrie de précision (actualisée) de 5cm au niveau de la RNN du Romelaëre. 3-Zoom d'un casier du Romelaëre pour apprécier la précision des traits.

Il est même possible de coupler les deux méthodes mais bien sûr avec une augmentation significative du coût associé.

L'acquisition des imageries par infrarouge est également utile et peut permettre une analyse fine de la densité de végétation en présence par exemple (lumière rouge réverbéré par la chlorophylle).

Application du protocole choisi

La photogrammétrie permettant également de produire un MNT avec des données XYZ en plus de permettre un rendu de haute définition des habitats du marais et d'être moins coûteuse que la technique LIDAR (avec les limitations décrites précédemment). C'est en définitive cette technique qui fut adoptée.

Dans certains cas de figure (zone d'étude de plusieurs centaines de m² voir un ou deux km²) il est couramment admis d'utiliser un drone professionnel afin de réaliser les survols. Mais dans notre cas, la zone d'étude couvrant 37km², l'utilisation d'un drone aurait été trop coûteux en termes de temps

(plusieurs semaines voire mois de travail uniquement pour les survols). Un avion léger type ULM a donc été utilisé sur un seul jour de beau temps.

Le choix de la période a été élaboré en prenant en compte la période de reproduction propice du Brochet (volonté d'observer les habitats hydrophytiques pérennes), d'avoir une faible végétalisation des surfaces pour faciliter l'élaboration du MNT (pointages XYZ) et enfin pour avoir une luminosité suffisante (éviter les « ombres rasantes »).

Le projet a donc été réalisé par le bureau d'étude InGeo spécialiste dans le domaine sur la période de janvier à juin 2019, en suivant les processus suivants:

1. Gestion administrative et réalisation des demandes d'autorisations diverses.
2. Etape de préparation des repères au sol ou « plaquettage ». Pose de repères spécifiques afin de calibrer les jonctions entre les dalles photogrammétriques *a posteriori* (figure 3). Des repères mobiles sont posés au sol ou des points durs blancs sont géo-référencés (passages piétons par exemple).
3. Prises de vues aériennes en avion lors de la journée du 24/02/2019 en suivant le plan de vol pré-établi. Prises de vues verticales en couleurs (RVB) résolution 6cm (2200 clichés) ainsi que l'acquisition du canal IRC en 9cm.
4. Construction du canevas photogrammétrique pour calage et référencement des clichés (stéréo-préparation et aéro-triangulation).
5. Réalisation d'un MNT avec les données XYZ (GRID ASCII 0,5m).
6. Production de l'Ortho-photoplan RVB numérique 5cm (dalles TIFF géo-référencées de 2000 x 2000m ainsi qu'un fichier global en ECW).
7. Restitution des polygones en eau, des connexions, des obstacles à l'écoulement et des remblais sur les 37km² en fichier .shp.



Figure 3 : Etape de « plaquettage ». Poses et géo-référencements des repères au sol afin de relier les dalles photos entrent elles à l'aide d'une station total ou Tachéomètre.

Mise en forme des données

L'intégralité des fichiers livrables ont été obtenus en juin. Le document livrable représente 145Go.

- Le MNT est découpé en deux parties avec le fichier .breaklines en .dgn (lignes de ruptures de pentes) et les 30 dalles en .asc.
- Les orthophotoplans 5cm RVB, 9cm IR et grises sont en fichier TIF.
- Les entités surfaciques sont en fichiers shapes.

Résultats et descriptif des données produites

Les fichiers livraisons ont été globalement très utiles lors des différents autres volets et Focus du projet FBMA. Ceux-ci ont permis d'apporter une aide à l'analyse, d'identifier les surfaces en eau et les habitats présents. Ils ont aussi été utilisés comme base de travail pour des inventaires ou des travaux.

La FDAAPPMA étant une association loi 1901 reconnue d'utilité publique, l'ensemble des données décrites ci-dessous est disponible gratuitement. Pour ce faire, il est uniquement nécessaire de prendre rendez-vous avec le personnel référent de la FDAAPPMA62 afin de convenir de l'échange de données suite à la signature d'une convention d'échanges.

Présentation des données

Les données sont organisées en 3 volets avec : le MNT, les Orthophotos (raster en TIF) et les entités surfaciques descriptives (couches vecteurs .shp). Ainsi :

1. **Le Modèle Numérique de Terrain** : le MNT se compose de 30 dalles de 2km avec un point XYZ tous les 50cm. Les données sont en .asc. Le fichier contient également une couche de lignes de ruptures « breaklines » en .dgn. Ces documents permettent à l'utilisateur de profiter de données altimétriques permettant l'analyse des profils topographique du marais.

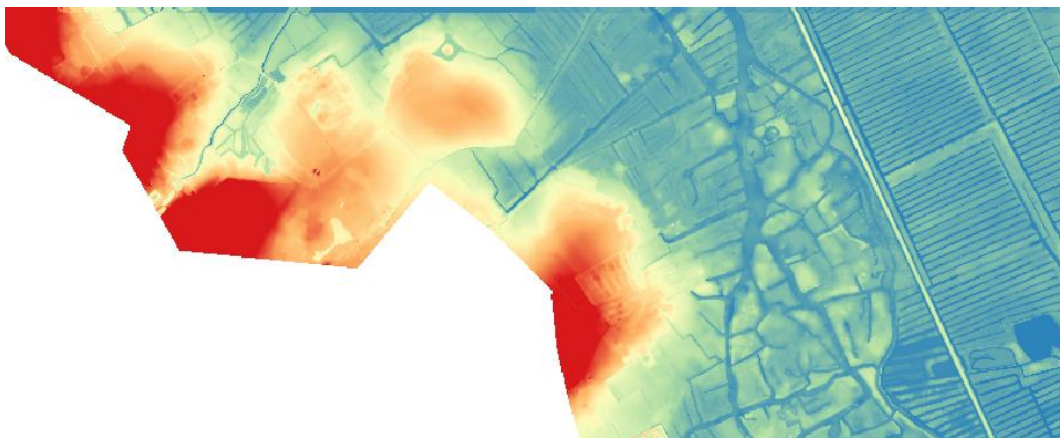


Figure 4 : Extrait du MNT du marais aux alentours de la commune de Salperwick. Un code couleur a été appliqué en fonction de l'altimétrie (Qgis 3.10 avec les modules GrassGis et Qgis2treejs)

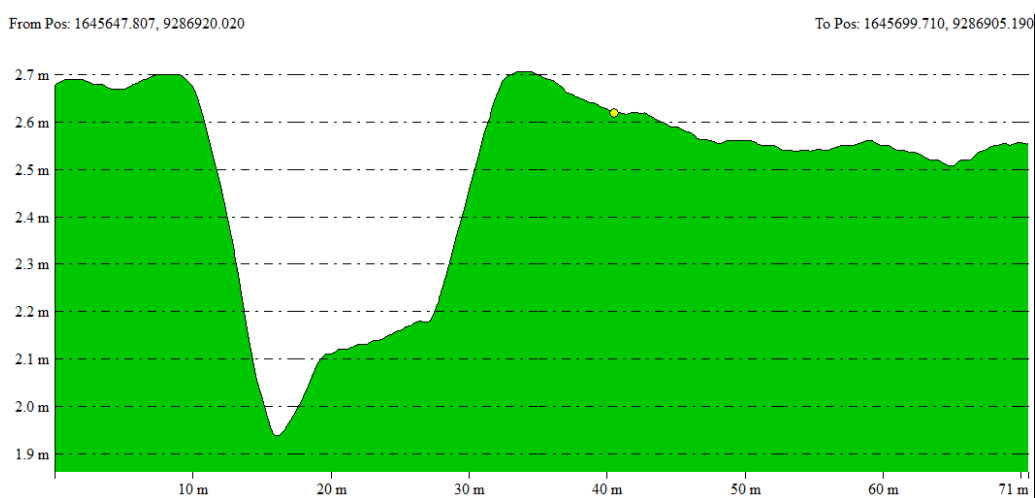
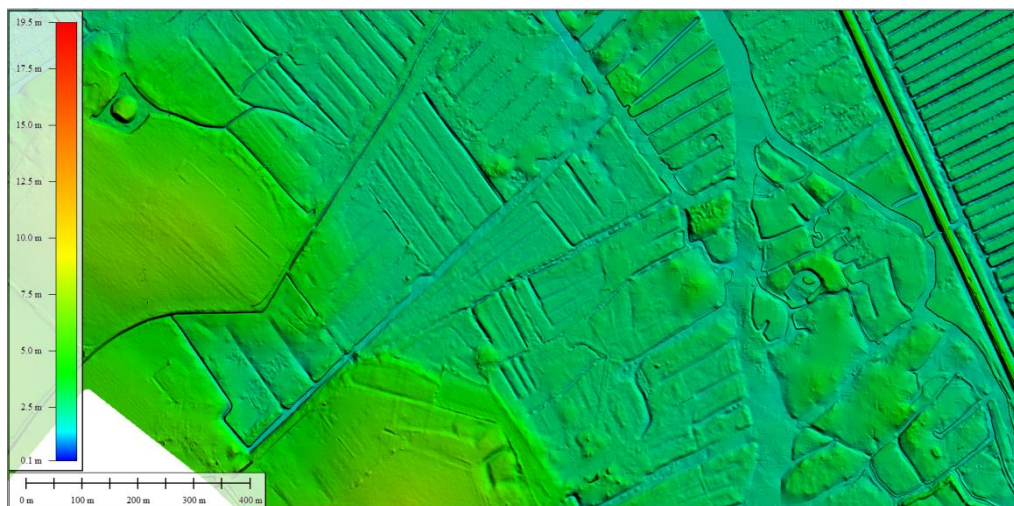


Figure 5 : Exemple d'application du MNT du marais aux alentours de la commune de Salperwick. Usage de la fonction permettant de produire un profil topographique sur le wateringue du fossé des moines (Global Mapper 21.0).

2. Les Orthophotoplans

Découpage en 3 parties avec :

- a. Les fichiers couleurs de haute précision (RVB 5cm en .tif et .ecw) avec 402 tuiles de 600m. Un fichier global pouvant s'ouvrir plus facilement est aussi disponible en .ecw mais de moindre précision. Une grille en .shp permet de faire office de filtre de recherche pour retrouver les références des différentes tuiles.
- b. Les fichiers gris de précision moindre (PIR 9cm en .tif) sont aussi représentés.
- c. Les fichiers infrarouges (IR 9cm en .tif) sont organisés de la même manière et permettent d'apprécier les différences de teintes de rouge en fonction de la densité de chlorophylle en présence.

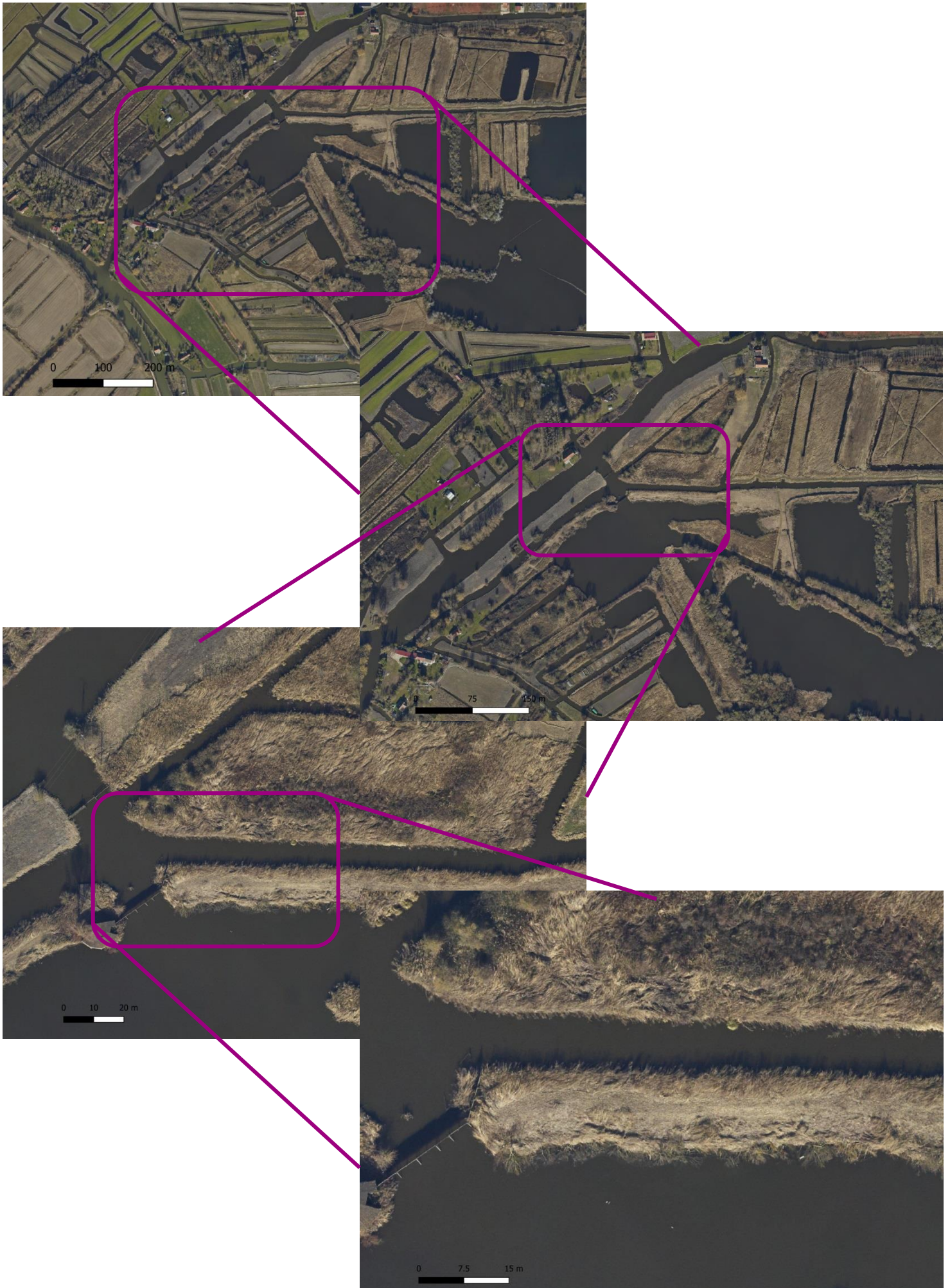


Figure 6 : Exemple d'application des Orthophotoplans à 5cm. Zooms successifs permettant d'apprécier les habitats de berges présent sur l'étang de Degazelle au Nord de la RNN du Romelaëre.

3. Les entités surfaciques

Ce fichier est organisé en deux parties avec un assemblage de fichiers shapes (fichier baptisé « topo shp »)

- a. Fichier de forme linéaire → avec les ouvrages recensés.
- b. Fichier de forme polygone → avec la surface en eau de plusieurs entités du marais hiérarchisés par échelle de gabarit :
 - i. Surface en eau du Canal à Grand gabarit.
 - ii. Surface des cours d'eau principaux (grands wateringues).
 - iii. Surface des cours d'eau secondaires (petits wateringues).
 - iv. Surfaces des fossés (watergangs).
 - v. Les déversoirs.
 - vi. Les écluses.
 - vii. Les étangs, plans d'eau et autres grandes surfaces en eau.
 - viii. Les îlots.
 - ix. Les ouvrages.
 - x. Les passerelles.
 - xi. Les vannes.



Figure 7 : Exemple d'application des fichiers .shp.

Notice d'utilisation du produit

Il est ainsi possible aux utilisateurs de profiter pleinement des données mais plusieurs recommandations doivent néanmoins être émises :

- L'utilisation des fichiers Orthophotoplans nécessite des ordinateurs relativement performants. Il est déconseillé par exemple d'ouvrir l'ensemble des tuiles ortho en même temps.
- L'utilisation des entités surfaciques peut permettre de remettre à jours les tracés des différentes entités en eau.
- Si une multitude de logiciels SIG peuvent être utilisés pour exploiter les données, le package Qgis 2threejs ou le logiciel GlobalMapper ou les modules 3D de ArcToolsBox de Arcgis peuvent être pertinents pour projeter le MNT en 3D. Un tel affichage est fort utile afin de permettre l'analyse des sites voire de produire des rendus de communication.

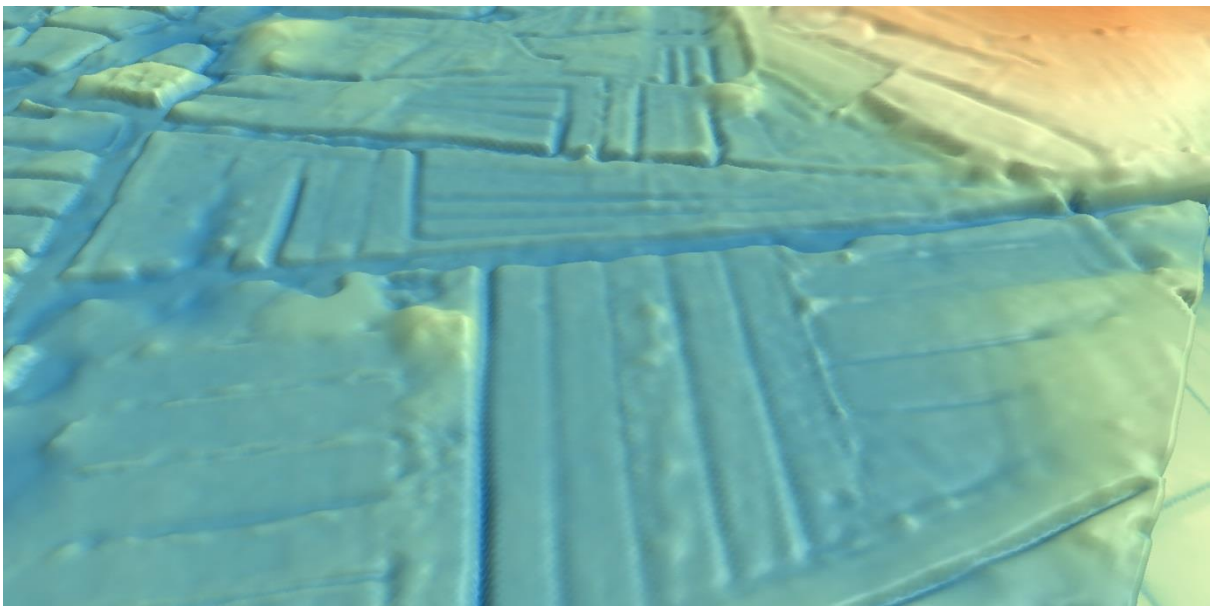


Figure 8 : Exemple d'application des modules 3D d'études topographique via Qgis2threejs sur l'annexe du fossé des moines.

Conclusion et perspectives

En définitive, l'utilisation des données produites lors des survols du marais Audomarois a permis d'appuyer les 4 autres Focus du projet FBMA. De plus, l'analyse nous a permis de mettre en évidence :

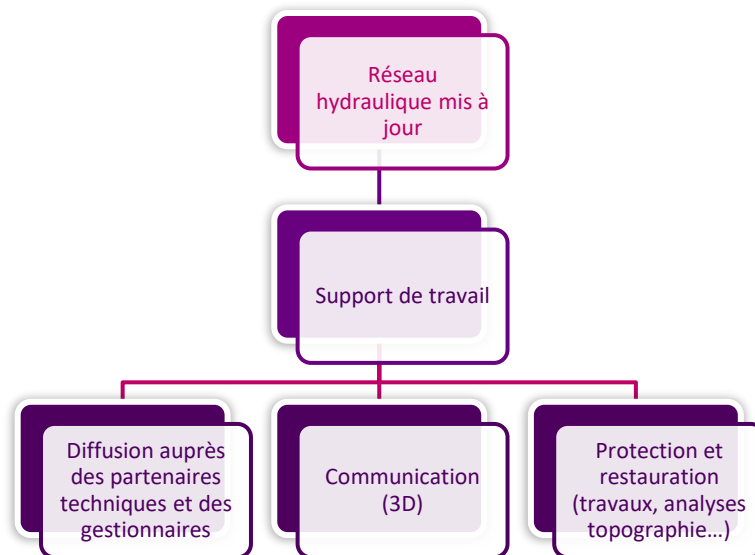
- Un réseau dense et complexe en eau qui est à présent connu et mis à jour sous divers supports de travail (MNT, 3D, IR, photo).
- Un support de communication (3D).
- 184 ouvrages divers.
- 317 passerelles, déversoirs, vannes, remblais sauvages, etc.
- L'identification de nombreuses connexions et déconnexions inconnues auparavant.

Néanmoins, il conviendra en perspective de ce présent Focus, de faire vivre ces données en permettant leur utilisation auprès des acteurs locaux et en les utilisant afin d'identifier des points clefs de fonctionnement de la connectivité latérale du marais dans le futur. En effet, au vue de la densité et de la qualité des données en présence, il peut être pertinent de réaliser des études futures ayant trait au fonctionnement hydrologique pur du marais Audomarois. En parallèle de cela, ce support de travail peut être usité lors de futures préconisations de gestions ou de travaux de restauration proposés sur le secteur.

D'ici là, les données produites pourront être diffusées et utilisées comme support de travail auprès des partenaires techniques et des gestionnaires locaux (CAPSO, PNR, CBNBL, SMAGEAA, SAGE Audomarois, EDEN62, 7^{ème} Section de wateringues, etc.) afin de les épauler pour gérer et protéger au mieux ce milieu si particulier qu'est le marais Audomarois.

Objectif d'identification précise du réseau dense et complexe en eau qui est à présent connu et mis à jour sous divers supports de travail (MNT, 3D, Infrarouge, photogrammétrie, entités surfaciques).

Support de travail et de communication → utile à de nombreux partenaires



Connectivité latérale ou deconnection latérale ?



- 184 ouvrages,
- 317 passerelles, déversoirs, vannes, remblais sauvages, etc.
- Aide pour les préconisations / travaux restauration / création / gestion hydraulique.



Convention d'échange de données afin d'accéder aux données

Convention d'échange de données afin d'accéder aux données gratuitement

Bibliographie

ACOU A, BOURY P, LAFAILLE P CRIVILLI AJ FREUNTEUN E 2005. Towards a standardized characterization of the potentially migrating silver eel (*Anguilla anguilla*), Arch. Hydrobiol, 164 (2) : 237-255.

BRETAR (F.), ROUX (M.) et PIERROT-DESEILLIGNY 2006 Couplage de données laser aéroporté et photogrammétriques pour l'analyse de scènes tridimensionnelles Thèse école nationale supérieure des télécommunications ENST, 166 pages.

BUCZKOWSKI A. "Drone LiDAR or Photogrammetry? Everything you need to know."

KOKALJ Z., ZAKŠEK K. AND OŠTIR K. 2011. Application of sky-view factor for the visualisation of historic landscape features in lidar-derived relief models Cambridge University Press: 02 January 2015 pp. 263-273.

VAUTIER F. VOLDOIRE O. Comparaison lasergrammétrie/photogrammetrie pour la mesure de l'érosion de pierres de façade (abbatiale de Manglieu, Puy-de-Dôme) Collection EDYTEM. Cahiers de géographie Année 2011 12 pp. 199-205

VÁZQUEZ TARRÍO D., BORGNIET L., LIEBAULT F., RECKING A., MALAVOI JR, LOIRE R. 2016. Utilisation d'images drone pour caractériser le mosaïque sédimentaire d'une rivière en tresses (Vénéon, massif des Ecrins).

VENNETIER M., MERIAUX P., BUSSET F., FELIX H., LACOMBE S 2010. Apport de la télédétection LIDAR aéroporté haute définition pour la caractérisation de la végétation des digues - Ecosystèmes méditerranéens et risques.