

## OIS.360 - Précision et qualité de reconstruction d'un système innovant d'imagerie oblique :

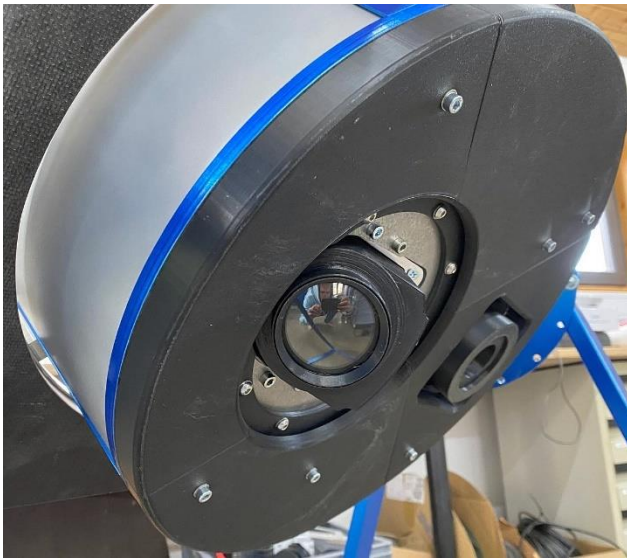
### Résumé

La technologie des caméras obliques est utilisée depuis 15 ans dans les levés aériens avec des avions et, depuis peu, également avec des drones. La demande en données pour la reconstruction 3D de bâtiments est forte. Le système de caméra innovant OIS.360 représente une innovation significative sur le marché en éliminant le besoin de matériel coûteux. La démonstration de la précision et de la qualité de reconstruction est l'objet de ce travail. Un nombre accru de perspectives capturées contraste avec une instabilité mécanique potentielle, des limites en GSD et des chevauchements insuffisants. Cependant, la capture de 8 perspectives surpasse les systèmes conventionnels. Cet article traite des workflows d'étalonnage et de reconstruction et examine si les données acquises séquentiellement sont comparables à celles des systèmes conventionnels. Différentes séquences d'évaluation sont comparées afin d'analyser les résultats AT, l'étalonnage de la caméra et la répétabilité des angles dérivés uniquement des mesures GNSS. Une comparaison de la qualité de reconstruction à l'aide du splatting gaussien est également effectuée dans cette étude.

Mots-clés : système d'imagerie oblique, jumeau numérique, splatting gaussien, étalonnage de caméra

## 1 Système de capteurs

Par rapport aux systèmes équipés de 5 caméras (nadir plus 4 caméras obliques), OIS.360 utilise une caméra nadir et une caméra oblique rotative avec une résolution de 120 MP et la technologie Global Shutter.



**Image 1:** OIS.360 lors d'un test de résistance mécanique en laboratoire avec plus de 250 000 cycles.

L'avantage réside dans le coût d'acquisition considérablement réduit (-60 %) et dans la possibilité de capturer huit perspectives avec une rotation de 45° et un angle d'inclinaison de 45°. Les images sont capturées

séquentiellement, produisant huit images en trois secondes. Cela peut entraîner moins de chevauchement le long de la trajectoire, mais plus de vues et un chevauchement plus important sur l'ensemble du bloc. Comme la caméra revient à sa position initiale, il y a une période d'environ 400 ms pendant laquelle aucune image ne peut être prise, ce qui, en fonction de la vitesse de vol, limite la résolution spatiale maximale et le chevauchement correspondant.

### 1.1 Description du système

Comme caméra nadirale, une caméra moyen format de 150 MP avec un objectif de 70 mm est intégrée. Elle est déclenchée de manière conventionnelle via un logiciel de navigation aérienne après une planification préalable de la mission de vol (recouvrement, GSD, suivi du terrain) à l'aide de la position GNSS. Pour la planification des images obliques, des bandes de vol et des longueurs de bande supplémentaires sont nécessaires afin de couvrir suffisamment la zone prévue avec la caméra oblique.

La caméra oblique est une PhaseOne iXM-GS 120 avec un objectif de 80 mm. Elle est montée sur un palier rotatif et contrôlée avec précision via un moteur pas à pas. Elle est équipée d'un contrôleur de moteur pas à pas hautement intégré avec un encodeur, fonctionnant via un micrologiciel de bas niveau.

L'accélération, la décélération, le déclenchement, la capture du signal de la caméra et la réaccélération présentent le défi complexe d'éviter les vibrations à l'arrêt et de garantir que la caméra est à 100 % statique au repos

pendant l'exposition. Ce compromis entre un séquençage rapide et une capture d'image nette est au cœur du développement, nécessitant une programmation approfondie des rampes d'accélération et de décélération afin d'éviter le survirage, les pertes de pas et l'oscillation postérieure de l'unité. Un centre de gravité optimal est essentiel, ce qui nécessite une construction mécanique précise.

L'alimentation électrique, le transfert des données d'image et le contrôle des signaux de déclenchement et d'événement ainsi que des balises GNSS sont gérés via des câbles d'alimentation, ce qui nécessite que la caméra revienne à sa position de départ à la fin de la séquence. Huit expositions sont déclenchées à des intervalles de 325 ms, avec environ 900 ms nécessaires pour le trajet retour (315°).

Le traitement des données d'image à cette fréquence d'images rapide (jusqu'à 5 images par seconde) n'est possible qu'avec une solution logicielle propriétaire. Cela permet également de régler l'ouverture, la vitesse d'obturation et l'ISO, ainsi que de prévisualiser les images. Les données sont capturées au format IIQs compressé, qui peut être directement traité par divers programmes. La séquence d'images est lancée au début de la ligne de vol et répétée à vitesse maximale jusqu'à la fin de la ligne.

**Image 2.** Empreintes statiques à 6 cm GSD pour l'OIS.360

## 1.2 Vol d'essai

À l'automne 2025, trois vols ont été effectués avec Geoplana GmbH.

Le 18 septembre, le premier vol d'essai au-dessus de Marbach a été réalisé à l'aide d'une combinaison caméra-objectif encore modifiée afin de valider le concept dans son ensemble. Il s'est avéré que l'objectif Schneider 110 mm n'était pas idéal pour la caméra oblique, car la résolution linéaire était insuffisante pour le capteur, ce qui entraînait un léger flou.

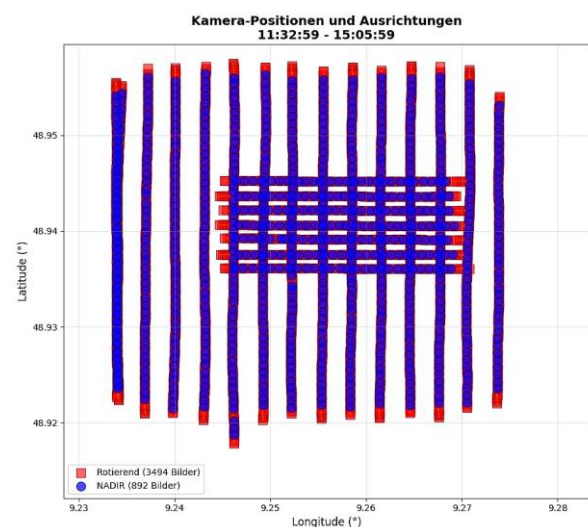
Un autre vol au-dessus de Schwäbisch Hall le 13 novembre avec la nouvelle combinaison capteur-objectif a donné des résultats optimaux en termes de qualité d'image, mais a posé des problèmes de stockage des images avec le nouveau logiciel Capture en combinaison avec le guidage de vol.

Un troisième vol au-dessus de Marbach, le 1er décembre, a permis de résoudre les problèmes liés au contrôle global.

Des calculs d'angle ont également été introduits dans les géotags, sur la base exclusive des données GNSS. Ceux-ci seront ensuite comparés et discutés avec les résultats AT.

Les missions ont été planifiées pour une GSD de 4 cm pour la caméra nadirale avec un chevauchement de 80/60 %. Il s'agit d'une configuration très courante pour les missions obliques. Il en a résulté une GSD moyenne de 5 cm pour les vues obliques. Planifiés et navigués avec Topoflight, les paramètres de position et de rotation sont stockés dans un fichier journal ainsi que dans les informations Exif.

Lors du dernier vol, certaines bandes ont été parcourues avec une GSD nadirale de 3 cm afin d'améliorer l'étalonnage de la caméra et de tenter d'obtenir des résolutions supérieures aux spécifications prévues.



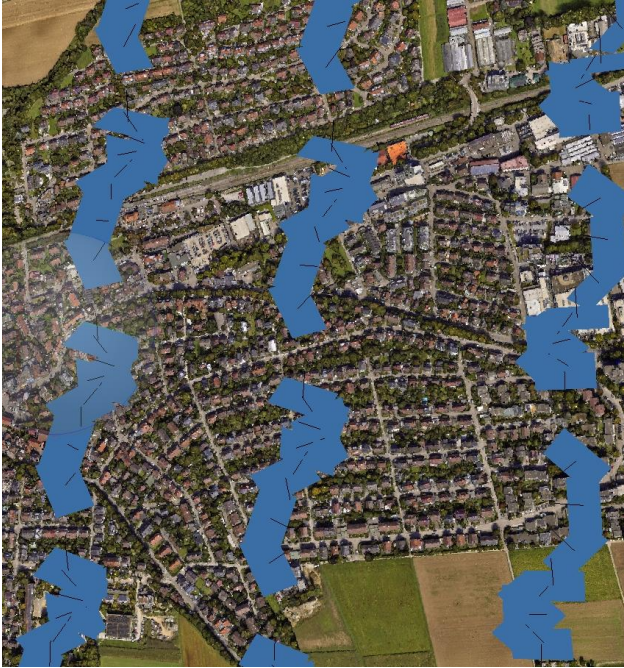
**Image 3.** Résultat du levé aérien du 1er décembre avec une résolution au sol de 3 et 4 cm au-dessus de Marbach

## 2 Aerotriangulation

Le traitement des données d'images a été effectué à l'aide de divers programmes tels que Skyline PhotoMeshTM et Agisoft Metashape, ainsi que Bingo. Alors que PhotoMeshTM peut fonctionner directement avec le format interne IIQ, les images ont dû être converties au format TIFF pour les autres programmes.

Tous les programmes ont pu relier les images sans problème et fournir de bons résultats AT. La vitesse de la correspondance des points de liaison dépendait fortement de la qualité des données EO fournies. Lors du dernier vol, qui a également fourni des angles approximatifs, la correspondance des points de liaison et le processus AT ont été environ 60 % plus rapides, en particulier dans

PhotoMesh.



**Image 4** Séquence d'images séquentielles provenant de la caméra obliqueAT of various image sequences

Dans la suite, des combinaisons spécifiques de perspectives d'images ont été sélectionnées pour être orientées séparément. Dans l'ensemble, Photomesh et Bingo ont obtenu des résultats meilleurs et plus robustes. Toutes les variantes ont suivi le même processus afin de comparer la liaison des images, l'étalonnage de la caméra et l'AT.

Une configuration similaire à celle des systèmes de caméras obliques standard a été sélectionnée avec 4 vues obliques (arrière, avant, gauche, droite) plus une vue nadirale. Une précision globale de 0,4 pixel a été obtenue, ce qui est en fait comparable aux systèmes classiques testés précédemment (par exemple OIS.L) [3].

Dans un deuxième scénario, les quatre vues diagonales par rapport à la caméra nadirale à 45 degrés (arrière gauche, avant gauche, avant droit, arrière droit) plus la vue nadirale ont été utilisées. Ici aussi, une précision comparable de 0,4 pixel a été obtenue, bien qu'une amélioration ait été attendue en raison du changement de perspective et du motif de correspondance différent.

L'utilisation des 8 vues obliques sans images nadirales donne une précision de 0,65 pixel pour l'ensemble du bloc d'images, ce qui est inférieur au système classique. Cela est compréhensible, car une caméra nadirale offre une

résolution et des observations indépendantes, ce qui permet une correction indépendante de l'ensemble du bloc.

En acceptant une précision géométrique réduite, il serait possible de se passer d'une caméra.

Comme prévu, l'utilisation des 8 vues plus la caméra nadirale a donné le meilleur résultat avec environ 0,32 pixel et un calibrage très robuste de la caméra.

L'avantage de l'OIS.360 est qu'il ne contient que deux têtes de caméra, ce qui signifie que seules deux orientations internes (étalonnages de caméra) doivent être déterminées. Un système classique offre ici plus de degrés de liberté et est moins stable sur le plan géométrique. Néanmoins, la précision n'est pas significativement plus élevée, ce qui se traduit par un chevauchement et une séquence d'images quelque peu indéterminés et donc par une plus grande variabilité de l'EO.

## 2.1 Calibrage de la caméra

Les résultats du calibrage de la caméra variaient légèrement en fonction du logiciel et de la séquence d'images. Le calibrage de la caméra a été déterminé à partir des données de vol. Aucun point de contrôle n'a été utilisé pour ce test. Lors de l'évaluation des seules images obliques, Metashape a calculé des différences plus importantes entre la distance focale calibrée et le calibrage d'usine ; ce problème a été beaucoup mieux résolu par Photomesh et Bingo.

Dans le cadre du levé aérien de Schwäbisch Hall, où il existe des différences d'altitude importantes entre le terrain et les bâtiments, tous les programmes ont fonctionné correctement et se sont rapprochés du calibrage d'usine. Lors du dernier levé aérien au-dessus de Marbach, où 7 bandes de vol supplémentaires ont été capturées à une résolution au sol de 3 cm, Metashape a également obtenu un bon calibrage de tous les paramètres, y compris la distance focale. 4075 images ont été incluses dans le calcul. Les distorsions résiduelles obtenues ne présentaient plus de schémas systématiques, ce qui indique un calibrage réussi. Celles-ci correspondent aux systèmes classiques à plusieurs caméras [2, 3], mais aussi aux caméras individuelles de format moyen [4].

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	23336.5	4.43606	1.00	-0.05	0.18	-0.29	-0.03	-0.99	0.98	-0.95	0.92	-0.05	0.19
Cx	50.293	4.10289		1.00	-0.02	0.05	0.70	0.05	-0.05	0.06	-0.06	1.00	-0.02
Cy	570.068	3.15858			1.00	-0.45	0.02	-0.15	0.14	-0.13	0.12	-0.02	0.99
B1	-116.211	0.229329				1.00	0.01	0.29	-0.30	0.30	-0.29	0.05	-0.44
B2	4.35067	0.171878					1.00	0.03	-0.04	0.04	-0.04	0.71	0.02
K1	0.0522972	0.0106365						1.00	-0.99	0.98	-0.95	0.05	-0.16
K2	0.112036	0.21498							1.00	-0.99	0.98	-0.05	0.16
K3	-0.629283	1.87828								1.00	-0.99	0.06	-0.15
K4	7.30619	6.02382									1.00	-0.06	0.14
P1	-1.54201e-05	0.000105084										1.00	-0.02
P2	0.00139071	7.99597e-05											1.00

Image 5: Calibration matrix pour la caméra oblique

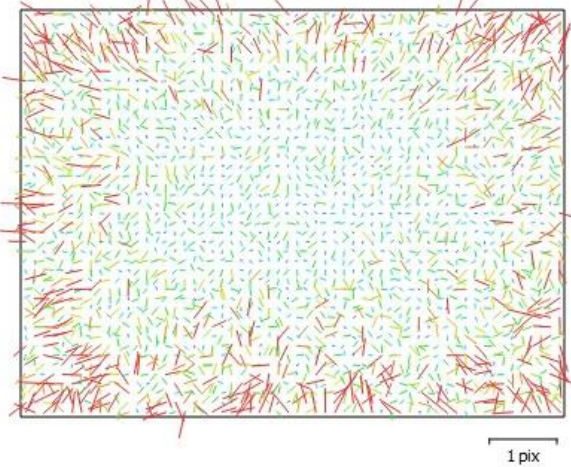


Image 6 : Graphique des erreurs résiduelles de la caméra oblique

## 2.2 Paramètre de démarrage / Géotags

Un récepteur GNSS était déjà intégré lors du dernier vol, et ses valeurs, y compris les angles calculés, ont été enregistrées dans les données EXIF des images. Les angles de tangage et de roulis ont été réglés à 0 pour la caméra nadirale, et l'angle de cap a été calculé à partir de la trajectoire au sol des données GNSS. Il ne s'agit que d'une estimation approximative, mais elle permet de trier grossièrement les images. Pour la caméra oblique, le tangage a été réglé sur l'angle de montage de 4 degrés, l'angle de roulis sur 0 degré, et l'angle de cap a été calculé à partir de la trajectoire au sol en utilisant les valeurs incrémentielles du capteur du moteur. Là encore, il ne s'agit que d'une hypothèse approximative, mais elle a permis à Photomesh d'effectuer le couplage des images et l'AT en 50 % du temps.

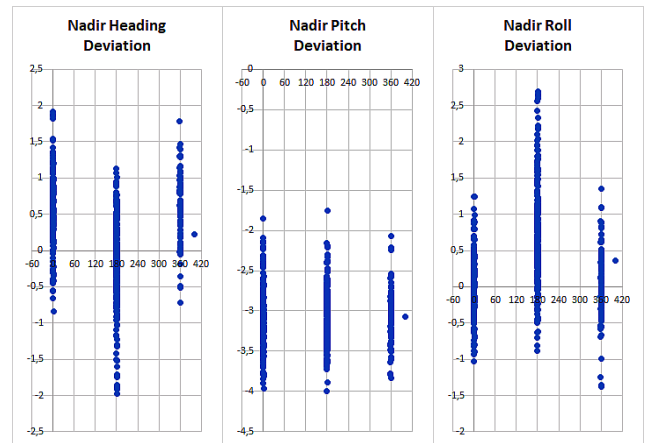


Image 7 : Écart entre les valeurs cibles et les valeurs AT

L'image 7 montre les écarts systématiques des angles AT calculés en fonction de la direction de vol. Outre la variation de l'angle de cap d'environ  $\pm 1,5^\circ$ , on observe une dérive due au vent latéral dans la direction de vol. Les valeurs de décalage varient en fonction de la direction de vol. Cela ne se produit pas avec la déviation nadirale du tangage ; au contraire, la position d'installation inclinée est constante, à environ  $-3,2^\circ$ . La fluctuation est imprécise, à environ  $\pm 1^\circ$ . Avec le mouvement de roulis, on observe une variation de  $\pm 1^\circ$  avec une légère dépendance à la direction de vol ou au vent latéral. Une légère amélioration pourrait être obtenue en calibrant la position d'installation. Une solution GNSS IMU est possible, au moins pour la caméra nadirale.

Il n'est pas possible d'installer une IMU sur la caméra rotative, car l'accélération ne fournirait pas de valeurs fiables sans filtres de Kalman adaptés et l'utilisation d'une pondération spéciale des capteurs individuels. La figure 8 montre la même analyse sur la caméra oblique.

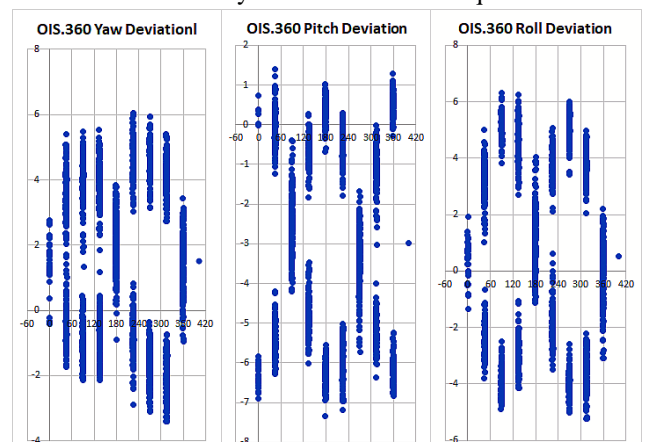


Image 8: Même analyse avec la caméra oblique

L'image est en fait similaire à celle de la caméra nadirale. Cependant, la caméra tourne dans le sens contraire au sens du vol et le cap calculé entraîne une plage de fluctuation de  $\pm 1,5^\circ$  sur l'axe Y par rapport aux valeurs de « cap au sol ». Le sens du vol entre désormais également en jeu avec la variance de tangage. L'écart de base de  $-3^\circ$  varie en fonction du cap de la caméra et la plage de fluctuation se déplace sur l'axe Y. On observe le même phénomène pour les angles de roulis ; ici aussi, il existe des écarts systématiques en fonction de la direction de vision ou de vol.

### 2.3 Concepts visant à améliorer les paramètres d'observation de la Terre

Les erreurs systématiques montrent qu'il y a matière à amélioration. Les systématiques peuvent être calculées à l'avance ou calibrées. Par exemple, les écarts systématiques de la caméra nadirale, qui révèlent des erreurs de montage, pourraient être utilisés pour corriger l'angle de tangage de  $3^\circ$  et le cap et le roulis d'environ  $0,3^\circ$ . Les erreurs dynamiques causées par les mouvements en vol ne peuvent pas être corrigées. Lors de ce vol, elles présentent une plage de fluctuation de  $\pm 1,5^\circ$  en cap et un décalage de  $3^\circ$  dépendant de la direction.

L'objectif est désormais d'intégrer une unité GNSS-IMU plus petite sur la caméra nadirale, capable de déterminer l'angle de rotation à  $0,2^\circ$  près. Une fois cette solution GNSS-INS calibrée par rapport à la caméra nadirale [1], l'étape suivante consiste à calibrer la caméra oblique par rapport à la caméra nadirale, en tenant compte des systèmes de référence en constante évolution. Cela nécessite toutefois une bonne reproductibilité mécanique des positions d'enregistrement. Grâce à la résolution du moteur pas à pas, du codeur incrémental et du réducteur, cela est réalisé de manière électromécanique avec une précision inférieure à  $0,1^\circ$ . Les erreurs de pas sont toujours détectées et corrigées. Cela a été vérifié optiquement à l'aide d'enregistrements vidéo au ralenti avec des repères de mesure sur le plateau tournant et le support de palier, ce qui permet une résolution supérieure à  $0,5^\circ$ . Grâce à cette modification, le système peut être amélioré avec le GNSS-INS, fournissant ainsi de meilleurs paramètres d'entrée et réduisant les points de contrôle.

## 3 3D Reconstruction

Diverses approches ont également été choisies pour la reconstruction 3D afin d'examiner les options offertes par différentes configurations. Toutes les images présentaient le problème d'ombres longues en raison de la saison et, dans l'ensemble, d'une faible luminosité mais d'un contraste élevé. Ici, Photomesh a pu utiliser toute la largeur de bits des images numériques en utilisant directement le format IIQ, obtenant ainsi une bonne représentation des zones d'ombre à côté des façades parfois très lumineuses. La génération du modèle a été effectuée pour les trois vols à l'aide de Skyline Photomesh.

L'évaluation du vol 1 des huit images aériennes obliques donne également de bons résultats au sol, mais avec une netteté légèrement inférieure sur les façades et les structures des bords. La précision géométrique semble également souffrir quelque peu au niveau des bords et des arêtes ainsi que des structures au sol. Cela signifie que l'utilisation d'une seule caméra avec 8 vues donne d'excellents résultats dans la construction 3D des bâtiments, mais que la précision de l'ensemble du bloc d'images est inférieure à celle des systèmes classiques. L'utilisation supplémentaire d'images nadirales permet une meilleure représentation du sol entre les bâtiments et des bords, ce qui peut certainement être attribué à l'amélioration de la géométrie. Cependant, la qualité optique inférieure de la caméra oblique dans ce vol joue également un rôle, rendant le modèle des vues obliques pures plus flou.





**Image 9-10** : Ci-dessus : centre-ville de Marbach généré uniquement à partir d'images obliques ; ci-dessous : avec l'ajout de la caméra nadirale

### 3.1 Évaluation de Schwäbisch Hall

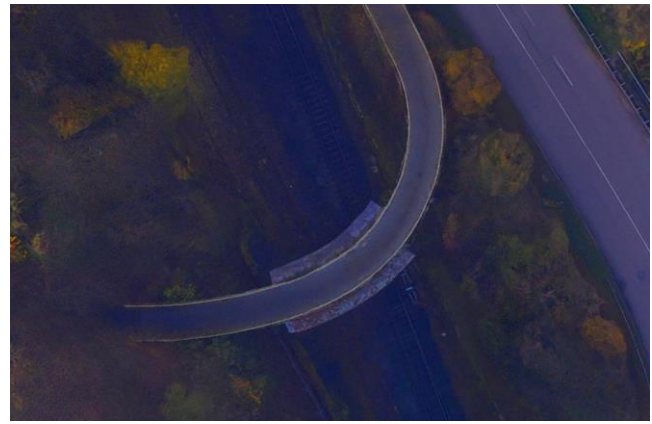
Au cours du vol au-dessus de Schwäbisch Hall, un modèle presque parfait a été généré à partir des données d'image. Pendant ce vol, des problèmes sont survenus entre la mémoire d'image et le contrôle de vol, ce qui a entraîné des lignes de vol non homogènes, des erreurs d'image individuelles et quelques pertes de chevauchement. De plus, les conditions d'éclairage dans l'étroite vallée de Kocher étaient assez problématiques. Ici, l'utilisation de données d'image brutes a permis de compenser de nombreux problèmes et d'obtenir une bonne résolution dans les zones d'ombre.

La dynamique des caméras, en particulier, permet encore d'obtenir des résultats impeccables au format brut, ce qui est inattendu à cette période de l'année. Une première analyse des

données montre, dans les figures suivantes, le contraste extrêmement élevé du modèle global et la structure encore reconnaissable dans les ombres les plus profondes du modèle.



**Image 11** : soleil bas de novembre avec des zones presque noires derrière la paroi abrupte du Kocher



**Image 12** : Dessin dans la zone presque noire grâce au format d'image brut IIQ

### 3.2 Splatting gaussien

Une expérience de splatting gaussien avec photomesh a été réalisée à partir du premier vol au-dessus de Marbach et du deuxième vol au-dessus de Schwäbisch Hall.

Le splatting gaussien analyse les surfaces et leur relation avec les points voisins. Il fonctionne mieux avec autant de perspectives que possible et permet ainsi de mieux représenter les objets isolés tels que les mâts, les échafaudages ou autres structures autonomes ou isolées.

Même au niveau des bords des bâtiments, la représentation est souvent meilleure que celle des modèles générés uniquement à partir de maillages 3D. En revanche, lorsqu'on les observe de très près, les surfaces apparaissent souvent légèrement floues. Cependant, les détails des échafaudages, ainsi que les façades et les bords des toits, sont nettement meilleurs.





**Image 13-14:** Ci-dessus : résultat d'un traitement normal ; ci-dessous : utilisation d'un éclatement gaussien à partir de 8 perspectives

Les images suivantes du monastère de Grosscomburg, près de Schwäbisch Hall, ont été créées à l'aide de la version bêta récemment publiée de Photomesh, qui offre une utilisation améliorée des données IIQ et une fonction Splat optimisée.

L'image globale présente des couleurs plus douces (plus réalistes) et les ombres dures ont été encore améliorées afin de mettre en valeur les structures reconnaissables. Les structures des flèches de la tour sont très clairement visibles dans la variante Splat, tout comme les échafaudages et d'autres parties de la façade. Dans l'ensemble, le modèle Splat est plus vivant et plus net.



**Image 15 :** Modèle 3D du monastère de Grosscomburg près de Schwäbisch Hall



**Image 16 :** Modèle 3D avec effet gaussien du monastère de Großcomburg près de Schwäbisch Hall

## 4 Discussion

Dans sa version actuelle, le nouveau système innovant OIS.360 offre des résultats tout à fait comparables à ceux des systèmes classiques à cinq caméras pour les images obliques avec une résolution spatiale au sol (GSD) pouvant atteindre 5 cm. Sa conception plus compacte et nettement moins coûteuse est un avantage pour les budgets limités ou pour les problèmes d'intégration dans des avions exigus. La GSD maximale possible dépend de la vitesse de vol. À une vitesse de vol maximale de 95 nœuds, la planification d'une image oblique de 4 cm GSD a également donné de très bons résultats.

En comparaison avec la précision AT et l'étalonnage de la caméra, l'OIS.360 est comparable au système classique.

Avec les programmes testés, tous les vols d'essai étaient bien équilibrés, mais d'autres systèmes semblent nécessiter des valeurs d'entrée ou de départ plus précises pour résoudre l'AT. Celles-ci ne sont pas encore suffisamment fournies dans la version actuelle (voir chapitre Perspectives).

En fait, dans ces tests et avec les résolutions de 5 cm obtenues grâce aux 8 perspectives, on observe un léger avantage dans le comportement de reconstruction en ce qui concerne le splatting gaussien. Le chevauchement lors du retour des caméras n'a pas entraîné de perte de qualité

notable dans aucun des modèles, du moins pas avec une GSD allant jusqu'à 5 cm.

## 5 Perspectives

L'OIS.360 est actuellement testé en conditions réelles, notamment pour vérifier l'endurance des roulements et l'intégration finale d'une IMU afin de générer de meilleures valeurs de démarrage. L'intégration d'un GNSS avec une résolution de 2 cm est disponible en option. La précision actuelle de 1 m avec un angle de 0,5 degré est déjà nettement supérieure à celle de la solution utilisée lors des vols d'essai à l'automne 2025. L'optimisation du logiciel de capture d'images, du contrôle de vol et de l'interface opérateur a déjà été mise en œuvre. Le système sera prêt pour la production en février et disponible pour livraison en mars.

Des travaux sont déjà en cours pour développer une technologie de rotation plus rapide. Les premiers essais avec d'autres étages moteurs, rapports de transmission, algorithmes de contrôle et moteurs légèrement plus puissants ont permis de réduire un cycle complet à 2 secondes maximum. Cela permet également d'obtenir des résolutions plus élevées (GSD plus petit) avec un chevauchement suffisant ou, avec le même GSD, davantage de données pour une reconstruction 3D améliorée. Cela signifie que le système réduit le temps du

cycle d'enregistrement et que l'intervalle nécessaire pour faire demi-tour devient également plus court, mais reste présent.

C'est pourquoi des expériences avec des bagues collectrices sont prévues, car la difficulté liée au volume élevé de données ne peut être surmontée que par une transmission par fibre optique. Dans le même temps, les données relatives à l'alimentation et au signal doivent également être bouclées. Si cela devait réussir, le facteur limitant serait la fréquence d'images de la caméra de 4 à 5 images par seconde et un cycle complet de 1,6 seconde, ce qui rendrait théoriquement possible une résolution spatiale de 2,5 cm.

## Bibliographie

- [1] Kemper, G., Pivnicka, F. & Geissler, S. (2012). Procédures d'étalonnage dans les configurations d'appareils photo moyen format ; XXIIe Congrès de l'ISPRS, Actes de l'ISPRS, Melbourne/Australie.
- [2] Kruck, E. & Melykuti, B.(2014). Kalibrierung von Oblique- und UAV Kameras, Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation, Hambourg, 2014
- [3] Kemper, G., Melykuti, B. & Yu, C. (2016). Procédures d'étalonnage des configurations d'appareils photo obliques : XXIIIe Congrès de l'ISPRS, Actes de l'ISPRS, Commission I, WG I/1, Prague /CZ
- [4] Tölg, T., Kemper, G. & Kalinski, D. (2016). Évaluation des caméras moyen format basée sur la dernière technologie PhaseOne ; XXIIIe Congrès de l'ISPRS, Actes de l'ISPRS, Commission I, WG I/2, Prague /CZ
- Orlik, T., Schechter, E.B., & Kemper,G. (2021). Modélisation 3D à l'aide d'images aériennes obliques avec des données UAV à courte portée pour des objets uniques. ISPRS 2021
- Motz, M., Kemper, G. & Ciobanu, D. (2021). Validation de la précision des configurations de caméras inclinées dans le projet Open Skies et les applications de cartographie. ISPRS 2021
- Fraser C. & Stamatopoulos C. (2014). Calibrage automatisé de caméra sans cible. Conférence annuelle ASPRS 2014 : Géospatial
- Heipke, C. (2017). Photogrammétrie et télédétection. Manuel de géodésie, publié par W. Freedon et R. Rummel.
- <https://doi.org/10.1007/978-3-662-47094-7>