

Relevés d'obstacles à la navigation aérienne au service de l'information aéronautique

■ Olivier DE JOINVILLE - Nicolas BOUAD - Nicolas TADJIAN - Audrey ALAJOUANINE - Gabriella TOTH - Sébastien LABARRE - Lucie CAMPMAS

Le Service d'information aéronautique (SIA) est un service de la DGAC (Direction générale de l'aviation civile) qui publie et exploite des données aéronautiques dont notamment les obstacles à la navigation aérienne.

Il existe trois types d'obstacles : les obstacles TOD (Terrain and Obstacle Data) exigés par l'OACI¹ (Annexe 15), les relevés d'obstacles pour la conception de procédures de vol aux instruments et les ONA (Obstacles à la navigation aérienne) qui sont publiés sur le site du SIA (<https://www.sia.aviation-civile.gouv.fr>).

Les deux premiers types d'obstacles sont relevés par deux sociétés qui ont été sélectionnées sur un appel d'offres public, cette procédure est récurrente afin de remettre en concurrence les prestataires. Les derniers obstacles (ONA) sont recueillis par le SIA auprès d'informateurs aéronautiques régionaux.

Le contrôle qualité des obstacles est sous-traité par GEOFIT Group, société spécialisée en création et gestion de bases de données géospatiales. Cet article a pour but de présenter les techniques d'acquisition de ces obstacles (restitution 3D et mesures topométriques) et de contrôles (en grande partie automatisés).

MOTS-CLÉS

Images aériennes, obstacles aéronautiques, ONA, PBN, qualité des données, restitution 3D, sécurité aérienne, TOD.

national qui a été notifié en janvier 2021 avec deux sociétés de géomètres-photogrammètres (OPSIA et GEInfra). Une fois le relevé terminé, la société livre les obstacles au SIA qui les envoie à la société GeoFitGroup pour contrôle.

Les différents types d'obstacles gérés par le SIA

En aéronautique, le terme "Obstacles" définit tout ou partie d'un objet fixe (temporaire ou permanent) ou mobile :

- a) qui est situé sur une aire destinée à la circulation des aéronefs à la surface ; ou
- b) qui fait saillie au-dessus d'une surface définie destinée à protéger les aéronefs en vol ; ou
- c) qui se trouve à l'extérieur d'une telle surface définie et qui est jugé être un danger pour la navigation aérienne.

Les différents types d'obstacles gérés par le SIA sont les suivants :

- Les Obstacles à la navigation aérienne (ONA) (figure 1) publiés dans l'AIP (Aeronautical Information Publication)

Introduction, contexte

Le Service de l'information aéronautique (SIA) est un service de la Direction des opérations (DO) de la Direction des Services de la navigation aérienne (DSNA), au sein de la Direction générale de l'aviation civile (DGAC). Il est chargé d'assurer le service d'information aéronautique tel que défini à l'Annexe 15 de la convention relative à l'aviation civile internationale du 7 décembre 1944.

Pour répondre à leurs besoins ou aux obligations qui leur incombent, plusieurs services de la DGAC collectent des données de type Obstacles, selon des spécifications, des formats, des rythmes et des modalités d'acquisition qui peuvent varier en fonction du contexte. Ces données de type Obstacles sont de trois types : ONA (Obstacles à la navigation aérienne), obstacles TOD (Terrain and Obstacle Data) et obstacles pour la conception de procédures de vol aux

instruments. Une présentation de ces trois types d'obstacles est proposée au paragraphe 2.

Les obstacles TOD et ceux destinés à la conception de procédures sont relevés par des géomètres via un marché

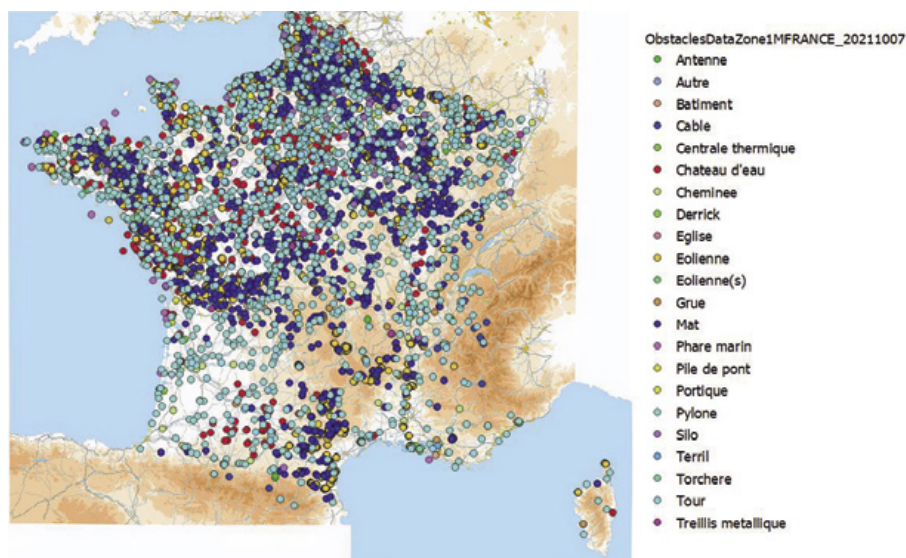


Figure 1. Visualisation des ONA sur la France métropolitaine.

¹ Convention on International Civil Aviation



pour des cycles de 28 jours sur le site Internet du SIA (<https://www.sia.aviation-civile.gouv.fr>, partie 2 [ENR5.4²]). Ils concernent l'ensemble du territoire français (métropole et DOM-COM). Les obstacles à la navigation aérienne sont exploités par le SIA grâce à des informateurs aéronautiques. Ce sont des agents de la DGAC, en contact avec les exploitants des aéroports, qui fournissent au SIA les caractéristiques de ces obstacles en termes de publication et de mise à jour (apparition, modification et suppression).

- Les relevés du programme TOD (Terrain and Obstacle Data). Ces relevés concernent une vingtaine d'aéroports (les plus importants en termes de trafic) et répondent à des normes de l'OACI (Annexe 15). Ils sont décrits en détails dans le paragraphe 3 et nécessitent une mise à jour tous les 5 ans.

- Les relevés d'obstacles pour la conception de procédures de vol aux instruments (appelés aussi PBN (Performance Based Navigation)). Ils concernent l'ensemble des terrains IFR (*Instrument Flight Rule*, vol aux instruments) de la France (Métropole et DOM-COM). Ils sont décrits en détail dans le paragraphe 4 et nécessitent une mise à jour tous les cinq ans.

Les relevés se font par photogrammétrie aérienne, les opérateurs restituant en 3D les obstacles qui percent des zones de collecte définies dans les cahiers des charges rédigés par le SIA et décrits dans les paragraphes 3 et 4.

Les relevés peuvent également être acquis à partir de mesures topométriques sur le terrain pour les obstacles non visibles sur les images (comme des antennes très fines par exemple). Chaque société va présenter dans cet article ses méthodes pour acquérir les obstacles (GEInfra pour TOD et OPSIA pour PBN) et les contrôler (GeoFitGroup).

Relevés d'obstacles TOD (société GE Infra)

■ Contexte

GE INFRA est une société toulousaine de géomètres-experts créée en 1979. Composée aujourd'hui de deux géomètres-experts associés et de 20 salariés, GE INFRA accompagne ses clients dans les domaines de la topogra-

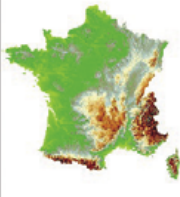
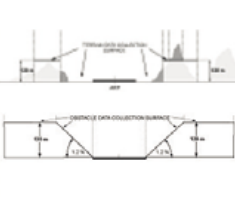
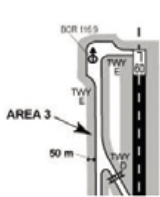
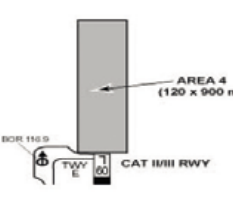
Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Etat	TMA ou 45km	Piste/taxiway	Zone CATII/III
			

Figure 2. Description des zones TOD.

phie, la topométrie, la photogrammétrie, le foncier et l'aménagement du territoire. L'Annexe 15 (Services d'information aéronautique) de la Convention sur l'aviation civile internationale (OACI) impose la mise à disposition de données numériques de terrain et d'obstacles relatives à l'ensemble du territoire des États selon quatre zones de couverture, *figure 2*.

Afin de répondre à ses obligations internationales, la société GE INFRA réalise des campagnes d'acquisition de données de terrain et d'obstacles à la navigation aérienne pour les aéroports français (Métropole et Outre-Mer) sur les zones 2, 3 et 4.

Ces acquisitions ont pour but la création de base de données terrain et obstacles TOD et la réalisation de cartes OACI de type A. Les données terrain ont vocation à être stockées sous forme de MNT et les données obstacles sous forme vectorielle (points, lignes ou polygones).

■ Applications envisagées

- systèmes EGPWS (*Enhanced Ground Proximity Warning System*) et MSAW (*Minimum Safe Altitude Warning*) ;
- détermination des procédures d'urgence (ex. *décollage N-1 moteur* ou panne de l'un des moteurs pour les avions bimoteurs) ;
- conception des procédures aux instruments ;
- système perfectionné de guidage et de contrôle de la circulation de surface (A-SMGCS, *Advanced Surface Movement Guidance and Control System*) ;
- production de cartes aéronautiques et bases de données embarquées.

■ Principe

La prestation consiste donc à réaliser :

- l'acquisition, la mise à jour et la mise en forme des données obstacles sur les zones 2, 3 et 4 ;

- la mise en forme de données terrain sur une partie de la zone 2 ;
- l'acquisition, la restitution et la mise en forme des données terrain sur les zones 3 et 4.

La prestation est réalisée par restitution photogrammétrique à partir d'acquisitions aériennes nouvelles (avion et satellite) et par relevés terrestres. Nous utilisons également les données IGN (scan25[®]), les données issues du site du SIA, ainsi que les données issues du site CartoRadio.

■ Acquisitions

La zone d'étude est couverte tout d'abord par des scènes stéréoscopiques provenant de photographies numériques couleur du satellite Pleiade (ou équivalent), avec une taille de pixel de 50 cm en *pansharpening*³.

L'utilisation des images satellite permet d'avoir une prise de vues globale et homogène sur toute la zone pour assurer l'exhaustivité des relevés, notamment pour tout ce qui est obstacle massif.

Elles permettent également de réaliser la phase amont de détection des changements lors d'acquisition pour mise à jour de la base de données grâce aux comparaisons des orthoimages issues des différentes campagnes d'étude.

L'utilisation des images satellite à 50 cm présente l'avantage de fournir des données de travail correspondant à la précision attendue tout en offrant un coût d'acquisition très faible par rapport à de la prise de vues aérienne classique. Une acquisition couplée caméra métrique et LiDAR est également réalisée sur les zones 3 et 4 afin de répondre aux attentes en termes de précision et de rendu du modèle numérique de terrain.

2. ENR : en route

3. Fusion d'une image multispectrale à faible résolution avec une image panchromatique à haute résolution

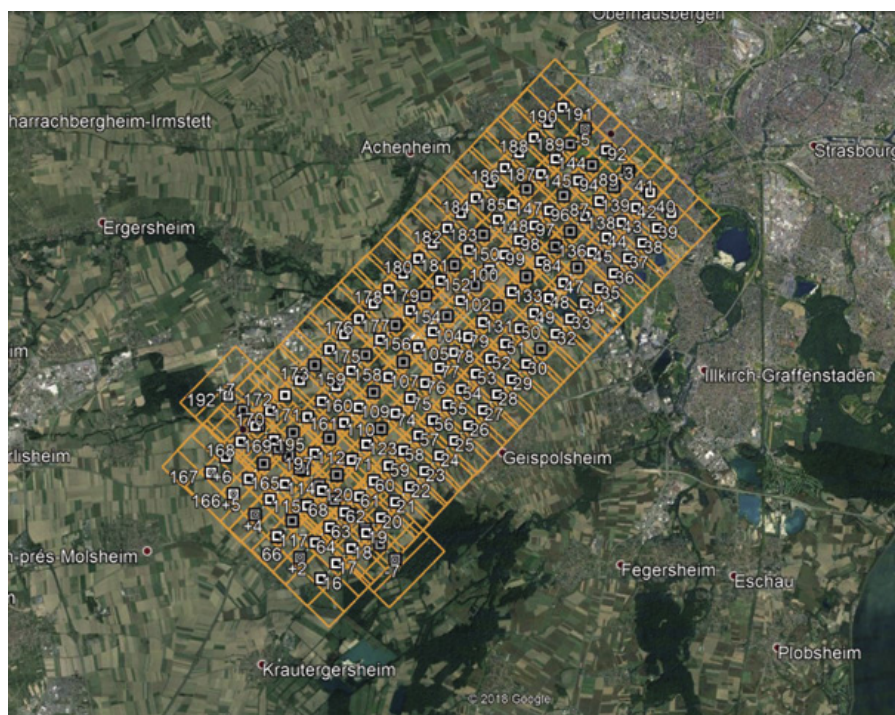


Figure 3. Exemple de plan de vol sur l'aéroport de Strasbourg.

Nous avons pour cela recours à une caméra grand format Vexcel Ultracam XP de 196 Mpxels avec une focale de 100 mm. Afin d'assurer la couverture complète en stéréoscopie, le recouvrement choisi entre les images est de 65 % en longitudinal et 30 % en latéral (figure 3). Avec un pixel de 20 cm, chaque image couvre une surface de 7,8 km².

L'avantage de cette acquisition par rapport aux images satellite est la résolution qui permet de voir et d'interpréter les objets fins, mais le coût d'une telle acquisition étant important, nous nous restreignons aux zones sensibles proches des pistes.

L'acquisition LiDAR, réalisée sur le même vol que l'acquisition photo grâce à un avion double trappe, utilise un LiDAR Riegl VQ780i avec une fréquence de 400 kHz, un angle de balayage de 60° et une densité de 5 pts/m². La précision obtenue est de l'ordre de 10 cm pouvant aller en dessous de 5 cm sur les zones d'enrobés (pistes, taxiways, etc.).

■ Calage

L'aérotriangulation consiste à déterminer la relation géométrique existante entre les images et le terrain naturel qu'elles représentent. Dans le cas des images aériennes, il s'agit de définir les para-

mètres de position tridimensionnelle (X, Y, Z) ainsi que l'inclinaison angulaire (κ , ϕ , ω) de la caméra au moment de la prise de vues.

L'observation des points de liaison entre photos d'une même passe et entre passes adjacentes se fait de manière automatique par autocorrélation. Cette étape est contrôlée manuellement par un technicien photogrammètre.

Une fois ces points de liaison créés, les points d'appui relevés lors de la stéréopréparation sont observés en stéréoscopie avec détection automatique des clichés concernés et saisis manuellement par l'opérateur.

■ Interprétation

Les restitutions planimétriques et altimétriques des éléments topographiques à prendre en compte dans cette étude, seront faites manuellement par des photogrammètres. La restitution porte sur tous les éléments visibles et identifiables sur le modèle stéréoscopique correspondant aux obstacles décrits au cahier des charges.

Chaque catégorie d'obstacles a son propre code de saisie, ce qui signifie que chaque élément est automatiquement identifiable (niveau, style, couleur).

Les données sont acquises et éditées dans l'environnement MICROSTATION



Figure 4. Ecran 3D Planar.

V8 avec l'applicatif PRO 600 de LPS et sur écran 3D PLANAR (figure 4).

Les zones 3, 2A et 2B sont traitées à partir des images aériennes de meilleure résolution. La zone 2C, qui ne demande la collecte que d'objets de plus de 15 m de haut et donc correspond à des obstacles significatifs, est traitée avec les images satellite.

Le LiDAR permet quant à lui de définir de manière automatique les hauteurs des obstacles massifs de type forêt ou bâtiment perçant les différentes surfaces d'étude par différence 3D entre le MNS et les zones 2, 3 montées en 3D.

L'extraction des échos au sol des données brutes LiDAR par le biais d'algorithmes de classification, permet ensuite de calculer l'élévation du sol "nu".

La qualité du MNT dépend néanmoins de la nature même de l'environnement, c'est-à-dire de la complexité de la topographie existante et du degré de fermeture du couvert végétal qui déterminent la densité d'échantillonnage des échos LiDAR atteignant le sol "nu". Le résultat de la classification automatique est contrôlée et corrigée manuellement par un opérateur (figure 5).

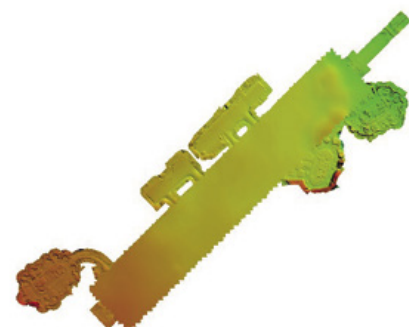


Figure 5. Exemple de MNT obtenu par LiDAR.

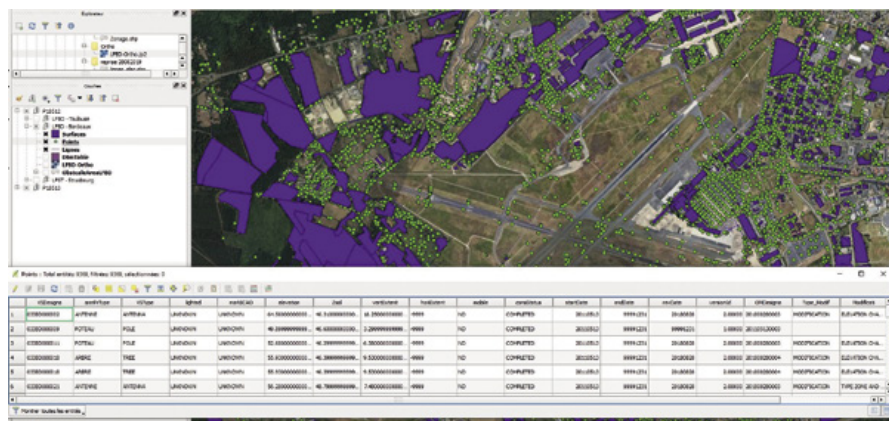


Figure 6. Base de données exploitées sous QGIS.



Des contrôles terrestres sont également réalisés par méthodes tachéométriques classiques et consistent à relever un semis de points pour le MNT sur la zone 3, faire un contrôle général des éléments restitués et corriger les erreurs d'interprétation, lever des éléments oubliés ou non restitués car non vus, lever tous les obstacles des zones sensibles comme la piste et le périmètre de l'aérodrome et enfin, lever tous les objets fins de type antenne fouet.

Réalisation de la base de données obstacle :

La base de données spatialisées est constituée de couches qui représentent l'information géographique sous les trois modes de représentation graphique (point/ligne/polygone) et sous forme raster.

Dans une base de données spatialisée, il est primordial de suivre les deux règles suivantes :

- dans une même couche, la cohérence topologique entre les différents objets géographiques doit être respectée ;

- entre deux couches, la cohérence spatiale relative entre objets géographiques doit être respectée.

Ces deux obligations attestent d'une bonne qualité de la base de données spatiales, sachant que celle-ci peut être constituée d'une infinité de couches vecteurs sur un même territoire. La base de données est réalisée sous le logiciel QGIS (figure 6) et livrée au format Shapefile.

Relevés d'obstacles pour la conception de procédures (société OPSIA)

OPSIA, c'est la conjugaison des savoir-faire d'un bureau d'ingénierie mis au service d'une expertise réglementée : le métier de géomètre-expert. C'est l'esprit d'entreprise, d'aventure et d'équipe, allié au goût de l'innovation et de la haute technicité. L'acquisition aérienne photo et LiDAR, la topographie, le scanner 3D au service du BIM, la bathymétrie et la détection de réseaux sont notre quotidien.

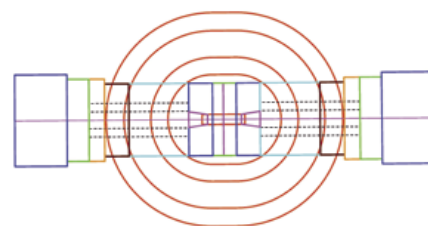


Figure 8. Exemple de zones de collecte pour un relevé PBN.

C'est, depuis plus de trente ans, une même exigence de professionnalisme, de qualité et de réactivité, pour satisfaire les plus divers clients : collectivités territoriales, industriels, particuliers, en France et dans le monde.

OPSIA, producteur de données topographiques et exploitant d'avion (figure 7) pour ses acquisitions aériennes, est particulièrement sensibilisé aux relevés d'obstacles en tant qu'utilisateur très régulier des aérodromes et de leurs procédures.

Le relevé d'obstacles pour la conception des procédures PBN débute par la construction et la modélisation en 3D des zones de collectes définies au CCTP (Cahier des charges) (figure 8).

En fonction des aérodromes, il est demandé de choisir entre l'option longue ou l'option courte.

La construction et la modélisation permet une analyse du site d'étude et la production d'un plan d'acquisition à la fois précis et exhaustif.

Compte-tenu de notre expérience et des attentes du CCTP, nous prévoyons une couverture photo de l'ensemble de la zone de collecte avec pixel 25 cm. Cette définition permet une optimisation du vol avec un seuil d'identification des obstacles et une précision conformes au cahier des charges.

Pour les abords immédiats de la piste, un pixel de 10 cm nous permet une saisie plus fine et plus précise dans les secteurs les plus sensibles.

Une acquisition LiDAR simultanée de 2 points/m² et de 15 points/m² vient compléter la vision stéréoscopique des opérateurs, en particulier pour la détermination des hauteurs des arbres en forêt calculées à partir d'un MNT précis. Le calage des clichés est effectué à partir de la détermination de coordonnées XYZ de points de stéréopréparation rele-



Figure 7. Avion exploité par OPSIA.

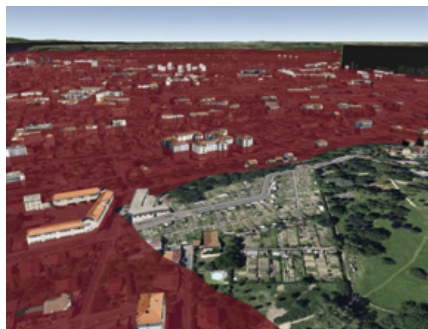


Figure 9. Superposition 3D de la maille et des images aériennes.

vés à partir d'un système GNSS précis. Sur la base de ces points d'appui, nous procédons à un calcul d'aérotriangulation par un processus de compensation par faisceaux.

Après avoir réalisé l'aérotriangulation des clichés sur le vol haut et le vol bas, la stéréorestitution des obstacles peut être faite. Les zones de collecte modélisées en 3D sont alors superposées aux images dans chaque couple stéréoscopique. Cela permet de voir directement en stéréoscopie les éléments qui percent la maille des zones de collecte et qui doivent donc être saisis (figure 9). Les images aériennes de l'axe bas sont utilisées pour saisir les obstacles de la zone "Abords proches" et celles des axes hauts pour les autres zones.

Lors de la saisie, les obstacles sont différenciés en quatre catégories :

- les obstacles minces, tels que les antennes, poteaux, pylônes ;
- les obstacles filiformes, tels que les lignes électriques et les caténaires ;
- les obstacles massifs tels que les bâtiments et les zones boisées ;
- les obstacles mobiles tels que les routes et les voies ferrées.

Les obstacles sont restitués en deux temps. Tout d'abord, les éléments qui dépassent les altitudes des mailles des zones de collecte sont saisis. Cependant, il se peut que, dans certaines zones, aucun élément ne dépasse les mailles. Ainsi, la seconde partie de la restitution consiste à relever un nombre minimal d'obstacles dans chaque zone, comme le prescrit le cahier des charges. Il faut noter que cette situation se produit généralement dans les zones les plus éloignées de la piste où les mailles altimétriques se situent bien au-dessus du terrain naturel.

Lorsque la saisie est terminée, les obstacles relevés sont analysés afin de contrôler que les contraintes du cahier des charges ont été respectées. Si nécessaire, des relevés terrain complémentaires sont ensuite programmés afin de mesurer plus précisément des obstacles où les données de l'acquisition aérienne ne permettent pas d'atteindre les précisions attendues. Cela peut être le cas notamment pour la mesure des sommets des antennes.

Lorsque toutes les données ont été acquises, la base de données obstacles peut être mise en forme. Il s'agit de transformer les données topographiques relevées en une base de données contenant les informations définissant les obstacles. Il s'agit notamment du type d'obstacle, de ses coordonnées, de son altitude sommitale ou encore de sa hauteur. Lors de cette étape, des contrôles manuels et automatiques sont effectués. Pour les contrôles manuels, il est notamment vérifié que le nombre

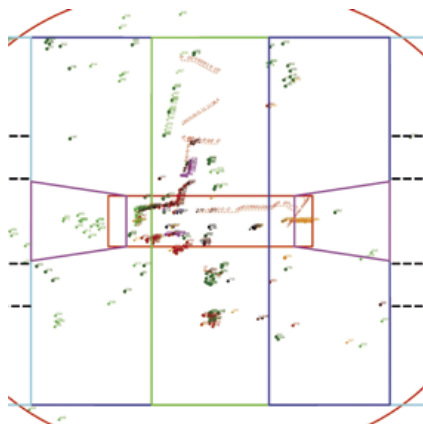


Figure 10. Plan de localisation des obstacles sur les zones centrales.

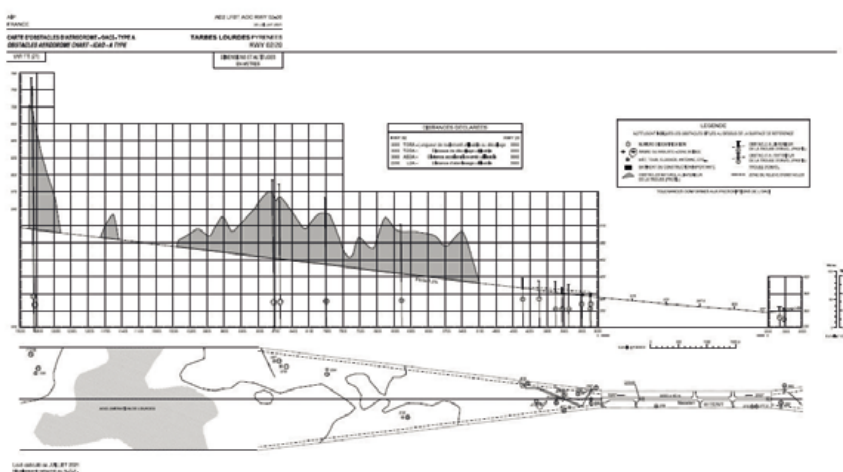


Figure 11. Carte OACI Type A.

d'obstacles minimal pour chacune des zones est respecté. Quant aux contrôles automatiques, ils permettent de vérifier les erreurs de mesure en mettant en avant les valeurs extrêmes. Une fois la base de données générée, un plan de localisation des obstacles est mis en forme afin d'avoir une vue globale de la position des obstacles par rapport aux zones de collecte (figure 10).

En complément de la base de données obstacles, une orthophotographie de l'emprise de l'aérodrome est calculée à partir des photos aériennes de l'axe bas. Enfin, la carte OACI Type A est mise à jour à partir du relevé d'obstacles réalisé. Cette carte permet d'avoir une vue synthétique des obstacles se situant dans les trouées de décollage et d'atterrissage, ainsi que du relief du terrain naturel à ces endroits (figure 11).

Contrôle des obstacles (société GeoFit Group)

GEOFIT Group est expert en Information spatiale numérique. Grâce à ses 50 ans d'expérience, GEOFIT Group offre aujourd'hui un service de haute qualité dans tous les domaines de la gestion et de la valorisation des données spatiales. Notre métier consiste à acquérir de la donnée *in situ* ou à partir de données existantes pour leur donner vie au travers de plans, de cartes thématiques, de modèles 3D, de maquettes BIM ou de systèmes d'information géographique. Nous savons représenter les données, les enrichir, les contrôler, les diffuser et les maintenir à jour.

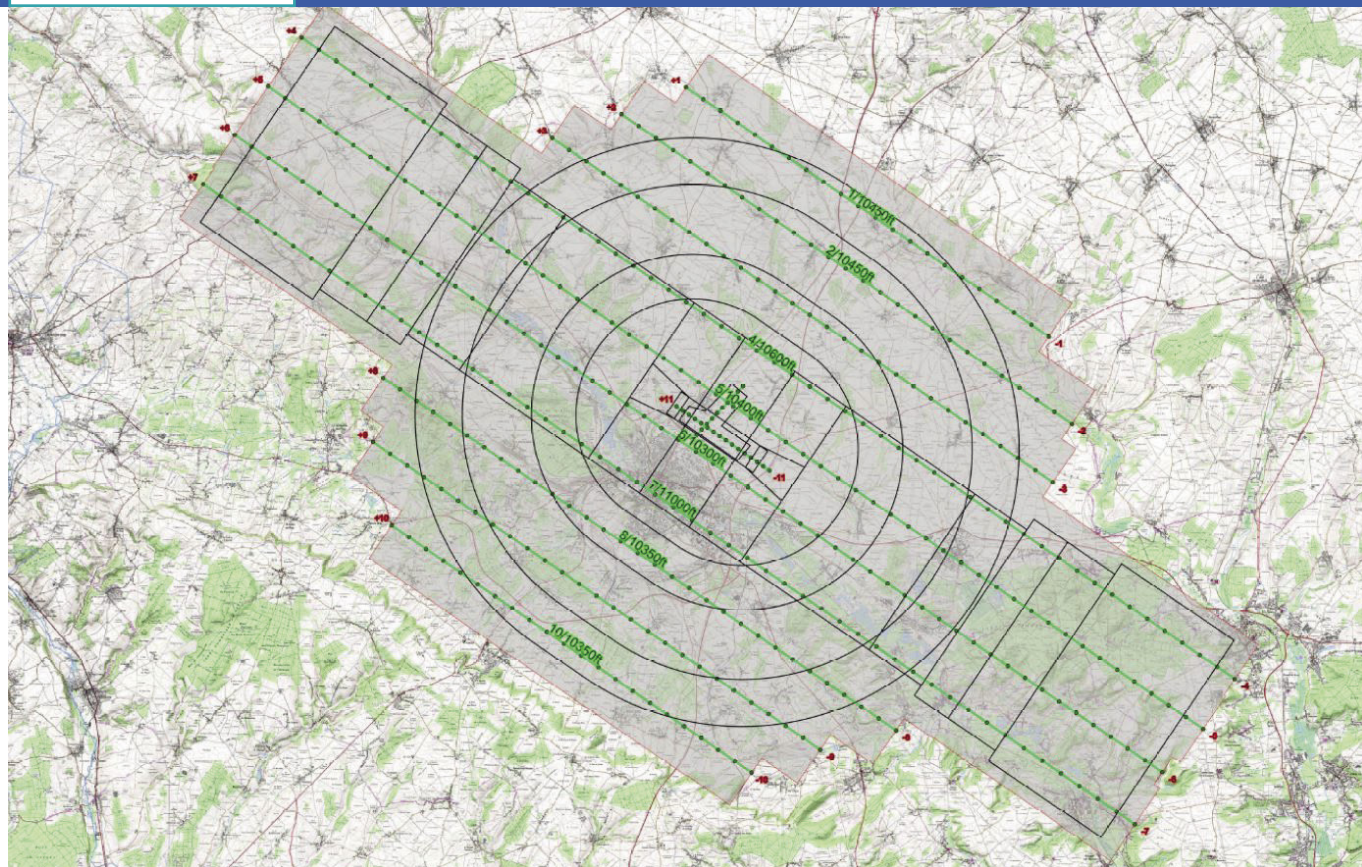


Figure 13. Contrôle des axes de vol.



Spécialisé dans la production et la gestion de bases de données géospatiales et leur contrôle qualité, GEOFIT Group est en charge de vérifier l'exhaustivité des données d'obstacles, ainsi que leur cohérence par rapport aux spécifications géométriques et sémantiques. Les contrôles sémantiques et géométriques sont automatisés via l'utilisation de l'outil FME® (*Safe Software*) et la création d'une chaîne de traitement (*Workbench*) en utilisant une suite d'outils précompilés (*Transformers*) ou construits spécifiquement. Les contrôles planimétriques sont réalisés via l'outil QGIS® et un plugin spécifique développé par GEOFIT Group. Les contrôles

stéréoscopiques sont réalisés après import de la prise de vues fournie par GE Infra ou Opsia, à l'aide du logiciel LPS / Pro600 – logiciel de restitution stéréoscopique.

■ Le contrôle d'exhaustivité

Le contrôle de la conformité du livrable
Cette étape permet de qualifier les livrables du géomètre en charge de l'acquisition des obstacles. Les éléments contrôlés sont :

- l'échelle spatiale : couverture de la

zone géographique à traiter ;

- l'échelle temporelle : millésime, période de mesure ;
- la résolution du levé : résolution des images de la prise de vues et/ou densité du nuage de points LiDAR, sources des données d'obstacles ;
- le système de projection ;
- le format et son ouverture dans l'application dédiée ;
- le format et la correspondance des objets géométriques et de leurs attributs.



Figure 12. Contrôle de la hauteur des obstacles par restitution 3D.

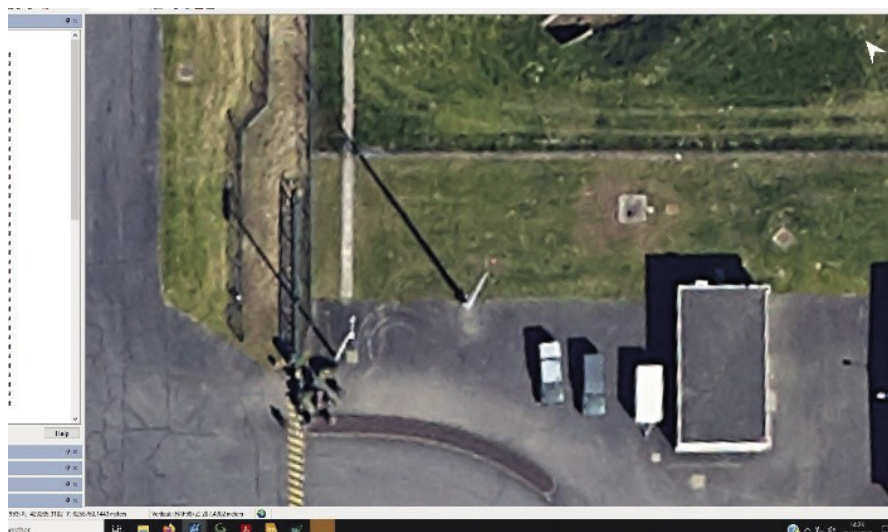


Figure 14. Exemple d'obstacles contrôlés (deux antennes et un bâtiment).



Le contrôle de la base de données : contrôle stéréoscopique de l'exhaustivité et de la géométrie des obstacles par sondage

Le contrôle d'exhaustivité et de la géométrie des obstacles est réalisé par un examen visuel stéréoscopique, basé sur la prise de vues importées.

La méthodologie de réalisation est composée des étapes suivantes :

- un examen global du fichier d'obstacles et des axes de vols (*figures 13 et 14*) par rapport au fichier de zonage déjà validé par le SIA : appréciation du nombre des obstacles sur les zones différentes, en fonction du relief, de l'occupation du sol et des objets restitués en qualité d'obstacles ;
- un choix des secteurs représentatifs à contrôler : au minimum un secteur sur chaque zone, et des secteurs "sensibles" tels que les bouts de piste, les constructions en cours, les zones boisées à relief, etc. ;
- une observation stéréoscopique des obstacles à contrôler par injection du fichier livré dans la vue stéréoscopique ;
- un examen de la qualité géométrique des objets définis en tant qu'obstacles ;
- un examen de la justesse des pointés altimétriques, notamment des objets filiformes, et des hauteurs définis par mesure des points les plus hauts des obstacles et du sol ;
- un examen de la cohérence des choix des points restitués, notamment dans le cas de l'application de la règle de l'effacement.

L'opérateur mesure des points d'obstacles et enregistre leurs coordonnées dans un tableau – qui sont comparés avec les coordonnées du fichier livré. En cas de problème, l'obstacle est redéfini. Un rapport final valide les prestations réalisées.

■ Le contrôle sémantique

La syntaxe et l'architecture des données sont contrôlées par rapport à leur conformité vis-à-vis des spécifications et du modèle défini avec la SIA.

Les éléments contrôlés sont :

- le respect de la nomenclature des objets ;
- le respect de la nomenclature attributive ;

- la correspondance des objets avec leur classe attributive ;
- la présence de toutes les données attributaires requises pour chaque objet ;
- la conformité des valeurs attributaires.

■ Le contrôle de la géométrie

Ces contrôles incluent, dans un ordre logique de traitement :

- la correspondance du type d'objet avec le type de géométrie. Les objets non conformes sont filtrés par l'utilisation d'un testeur de géométrie (*Transformer GeometryFilter*) ;
- la taille des géométries : Chaque objet restitué en surfacique dont la surface est inférieure à la limite de la représentation doit être reclassé en objet ponctuel dont l'information d'élévation est extraite de l'élévation maximale de l'objet initial. Ce ponctuel doit correspondre au centroïde exact ou, si celui-ci se trouve à l'extérieur de l'objet, à un point situé à l'intérieur. De même, un objet linéaire de moins de 10 m ne doit pas exister, au profit de sa version ponctuelle. Les dimensions des objets sont mesurées grâce aux *Transformers AreaCalculator* ou *LengthCalculator* et les objets dont les caractéristiques ne sont pas conformes aux spécifications sont filtrés en utilisant un *Transformer Tester* ;
- la localisation géographique des objets (respect des zonages, mise en évidence des erreurs d'appartenance). Les objets non conformes sont filtrés en utilisant un *Transformer testeur SpatialFilter* avec des contraintes sur le chevauchement et l'intersection entre les géométries des objets et les zones de collecte ;
- la détection de croisement/superposition d'objets avec prise en compte des élévations. Les objets non conformes sont filtrés en utilisant un *Transformer testeur SpatialFilter* ;
- le contrôle de la densité de points, par l'utilisation du *Transformer DensityCalculator*.

■ Contrôle altimétrique

Le contrôle de l'altimétrie des objets est également réalisé en stéréoscopie (*figure 12*).

L'opérateur mesure le sol à proximité des obstacles contrôlés, et calcule la hauteur de l'objet (différence des deux mesures stéréoscopiques).

Ensuite il vérifie l'attribut "hauteur" enregistré dans le fichier livré par rapport à la mesure.

■ Le contrôle topologique

Les éléments contrôlés sont :

- le chevauchement de surfaces : filtrage par contrainte géométrique (*Transformer SpatialFilter*) ;
- les auto-intersections : filtrage par contrainte sur la configuration géométrique des vertex (*Transformer GeometryValidator*) ;
- les *undershoot/overshoot* : conversion des polygones en multilignes (*Transformers Chopper et Intersector*) et détection des anomalies sur la reconstruction de surfaces à partir des lignes (*Transformer AreaBuilder*) ;
- les *kick-back* ou *spikes* : détection des vertex correspondant aux sommets de pics (*Transformer SpikeRemover*) ;
- les *sliver* (trous et chevauchements entre polygones adjacents) : filtrage des géométries nécessitant une réparation par fusion ou remplissage (*Transformer AreaGapAndOverlapCleaner*) ;
- les géométries dupliquées : filtrage par détection des géométries jumelles (*Transformer Matcher*) ;
- les vertex en doublons/proches : filtrage par détection de points consécutifs identiques (*Transformer GeometryValidator*) ;
- les vertex non partagés entre géométries possédant une frontière commune : conversion des géométries en lignes, détection des intersections entre lignes pour extraire les frontières communes, conversion en points des frontières communes et filtrage des points non identiques (utilisation de différents *Transformers*, notamment *Chopper*, *PointOnPointOverlayer*, *LineOnLineOverlayer*, *Tester*, etc.).

■ Le contrôle des MNT

Le contrôle des MNT suit deux phases, l'une de vérification de ses caractéristiques techniques et l'autre de suivi d'un contrôle géométrique et morphologique de détection d'aberrations.

Les contraintes sur les caractéristiques des MNT sont définies par leur zone de référence. Les contrôles sur la taille du pixel, le système de coordonnées de référence et le bon positionnement





géographique sont effectués de manière automatique à partir de l'interfaçage des contraintes et des informations contenues dans les métadonnées.

Les caractéristiques morphologiques et géométriques du MNT sont contrôlées de manière semi-automatique.

La détection d'aberrations importantes est d'abord réalisée par un contrôle visuel du jeu de données fourni. Dans un deuxième temps, des algorithmes automatiques permettent de rechercher les points dont l'élévation est aberrante par rapport à un niveau de sol moyen (calculé localement ou globalement) ou des zones de *no data* non négligeables (liés à des problèmes de stéréorestitution en excluant les zones d'eau ou de faible contraste pour lequel le phénomène est normal).

Conclusion - Perspectives

Le SIA centralise les trois types de relevés d'obstacles décrits aux paragraphes 2, 3 et 4 de l'article. Ces relevés contribuent à la sécurité des vols à basse altitude et aux abords des aérodromes (approche, décollage et atterrissage).

Les techniques utilisées pour ces relevés sont très fiables et précises, elles sont utilisées par des sociétés habilitées et très expérimentées dans le domaine aéronautique. L'avenir est à l'*open data* et les données TOD, en plus des données ONA, seront prochainement en accès libre sur le site du SIA.

Il faut noter également que les trois bases de données d'obstacles (ONA, TOD et procédures) seront fusionnées en une seule dans le cadre d'un projet opérationnel développé par Thales à horizon 2023 appelé BDNO (Base de données nationale d'obstacles). ●

Références bibliographiques

- Annex 15 to the Convention on International Civil Aviation (16th édition) : Doc 10066, Gestion de l'information aéronautique, Première édition, 2018 et DOC_10066_Ed1_TBL1_FR-EDENPROD.
- Arrêté du 6 juillet 2018 relatif aux cartes aéronautiques – chapitre 3 de l'annexe à l'arrêté.

- CCTP générique : Campagne d'acquisition de données obstacles pour les procédures PBN.
- CCTP générique : Campagne d'acquisition de données obstacles TOD.
- EUROCAE ED99D : *User requirements for Aerodrome Mapping Information*.
- EUROCAE ED119C (2015) : *Interchange standards for terrain, obstacle and aerodrome mapping data 2015*.
- EUROCONTROL *Terrain and Obstacle Data Manual, V3 du 04/05/2021*.
- Evaluation de la qualité d'une base de données vectorielles, Guide méthodologique, IGN, version 1.0 du 25/01/2018.
- Journal Officiel de la République Française du 23 mars 2015 : Arrêté du 23 mars 2015 relatif à l'information aéronautique. Version consolidée (Modifié par arrêté du 3 octobre 2017 et arrêté du 13 mars 2018).
- Spécifications des données numériques de Terrain et Obstacles TOD : document fourni en annexe du CCTP.

ABSTRACT

The Aeronautical Information Service (AIS) is a service of the DGAC (Civil Aviation General Direction) which publishes and uses aeronautical data including, in particular, obstacles to air navigation. There are 3 types of obstacles: TOD (Terrain and Obstacle Data), obstacles required by ICAO (Annex 15), obstacle surveys for the design of instrument flight procedures and ANO (Air Navigation Obstacles) which are published on the SIA website (<https://www.sia.aviation-civile.gouv.fr>). The first two types of obstacles are surveyed by two companies which were selected through a public tender, this procedure is recurrent in order to maintain competition among providers. The other obstacles (ONA) are collected by the AIS from regional aviation information providers. The quality control of obstacles is carried out by GEOFIT Group, a company specialized in creation and management of geospatial databases. The purpose of this article is to present the techniques for acquiring these obstacles (3D rendering and topometric measurements) and controlling them (mostly automated processes).

Contacts

- Olivier DE JOINVILLE¹
olivier.de-joinville@aviation-civile.gouv.fr
 Nicolas BOUAD² - Nicolas TADJIAN²
 Audrey ALAJOUANINE³ Gabriella TOTH⁴
 Sébastien LABARRE⁴ - Lucie CAMPMAS⁴
 1 DGAC, Service de l'Information
 Aéronautique, Bordeaux-Mérignac
 2 OPSIA, Toulon
 3 GE Infra, Toulouse
 4 GEOFIT Group, Gennevilliers et Montpellier

COMITÉ DE LECTURE D'XYZ

- BOSSER Pierre,
 professeur associé, ENSTA Bretagne, Brest
 BOTTON Serge,
 ingénieur, ENSG Marne-la-Vallée
 CLÉDAT Emmanuel,
 enseignant chercheur, ENSG, Marne-la-Vallée
 HULLO Jean-François,
 dr. ingénieur, EDF, Paris
 KOEHL Mathieu,
 maître de conférences, INSA Strasbourg
 LEQUEUX James,
 astronome émérite à l'Observatoire de Paris
 MAINAUD DURAND Hélène,
 ingénieur topographe, CERN Genève
 MISSIAEN Dominique,
 ingénieur topographe, CERN Genève
 MOPIN Irène,
 ingénieur recherche, ENSTA Bretagne, Brest
 MOREL Laurent,
 professeur des universités, ESGT Le Mans
 PANTAZIS N. Dimos,
 professeur, TEI Athènes
 POLIDORI Laurent,
 directeur du CESBIO, Toulouse
 REIS Olivier,
 ingénieur, traducteur, Sarreguemines
 ROCHE Stéphane,
 professeur, Université Laval, Québec
 TOUZÉ Thomas,
 dr. ingénieur géomètre, EDF, Grenoble
 TROUILLET Michel,
 ingénieur topographe, Lyon
 Font partie du comité de lecture les membres du comité de rédaction et la rédaction (la directrice des publications et son adjoint, le rédacteur en chef et son adjoint), voir la liste en page sommaire.